



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR  
TERHADAP TEGANGAN TEMBUS PADA ISOLASI MINYAK  
TRANSFORMATOR JENIS MINERAL, SINTETIS, DAN NABATI**

Pugeh Aditya Nayahannah  
NRP 07111645000016

Dosen Pembimbing  
Daniar Fahmi, S.T., M.T.  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**FINAL PROJECT - TE 141599**

**ANALYSIS OF TEMPERATURE CHANGE EFFECT FOR  
BREAKDOWN VOLTAGE OF MINERAL, SYNTHETIC, AND  
VEGETABLE TRANSFORMER OIL ISOLATION**

Pugeh Aditya Nayahannah  
NRP 07111645000016

Advisor  
Danar Fahmi, S.T., M.T.  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

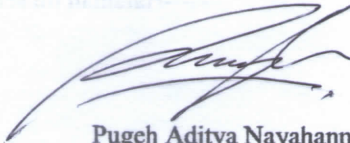
## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Analisis Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Tegangan Tembus pada Isolasi Minyak Transformator Jenis Sintetis, Mineral, dan Nabati”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 4 Juli 2018



Puguh Aditya Nayahannah  
NRP 07111645000016

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR  
TERHADAP TEGANGAN TEMBUS PADA ISOLASI MINYAK  
TRANSFORMATOR JENIS MINERAL, SINTETIS, DAN  
NABATI**

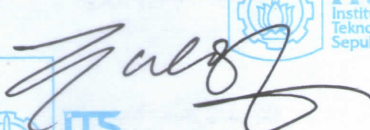
**TUGAS AKHIR**  
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
**Danjar Fahmi, S.T., M.T.**  
NIP. 198909252014041002

  
**Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.**  
NIP. 197007121998021001



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----



# **ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR TERHADAP TEGANGAN TEMBUS PADA ISOLASI MINYAK TRANSFORMATOR JENIS MINERAL, SINTETIS, DAN NABATI**

**Nama : Pugeh Aditya Nayahannah**  
**Pembimbing : Daniar Fahmi, S.T., M.T.**  
**Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.**

## **ABSTRAK**

Minyak transformator adalah salah satu jenis media isolasi yang berfungsi memisahkan antara bagian yang bertegangan maupun tidak bertegangan pada transformator. Selain itu, minyak transformator dapat difungsikan sebagai media pendingin. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas isolasi dari minyak transformator adalah pengaruh perubahan temperatur yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban, beban berlebih, dan rugi-rugi yang terjadi pada inti transformator. Transformator dengan kualitas isolasi yang buruk berpotensi menyebabkan beberapa kerugian, diantaranya adanya pemadaman atau bahkan kerusakan serius pada transformator. Oleh karena itu, untuk mengamati kualitas isolasi minyak transformator, dilakukan pengujian pengaruh perubahan temperatur terhadap tegangan tembus minyak transformator. Minyak transformator yang digunakan sebagai obyek uji adalah jenis minyak yang sering digunakan sebagai media isolasi, yaitu minyak mineral, sintetis, dan nabati.

Pengujian dilakukan berdasarkan standar uji IEC 156 dengan menggunakan elektroda berbentuk jamur dengan jarak sela 2.5 mm. Sebelum diuji, sampel dilakukan pemanasan dengan kenaikan temperatur bertahap dengan lama pemanasan 30 menit. Setelah itu, dilakukan uji kadar air untuk mengetahui pengaruh kandungan air terhadap tegangan tembus yang diperoleh. Hasil pengujian menjelaskan bahwa kenaikan temperatur menyebabkan nilai tegangan tembus minyak semakin meningkat, akibat dari kandungan air yang semakin rendah. Minyak nabati memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang paling tinggi dibandingkan dengan minyak mineral dan sintetis sesuai dengan nilai titik nyala pada ketiga jenis minyak.

**Kata Kunci : Tegangan tembus, media isolasi minyak,  
perubahan temperatur**

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# ***ANALYSIS OF TEMPERATURE CHANGE EFFECT FOR BREAKDOWN VOLTAGE OF MINERAL, SYNTHETIC, AND VEGETABLE TRANSFORMER OIL ISOLATION***

**Name : Pugeh Aditya Nayahannah**

**Advisor : Daniar Fahmi, S.T., M.T.**

**Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.**

## ***ABSTRACT***

*Transformer oil is one type of isolation media that serves to separate between the electricized and non-electricized part on the transformer. Furthermore, transformer oil has a function as a cooling medium. One of the factors affecting the insulating qualities of transformer oils is the effect of temperature changes caused by imbalance-load, overload, and losses occurring at the transformer core. Transformers with poor insulation quality have the potential to cause some losses, such as blackouts or even serious damage to the transformer. Therefore, in order to observe the quality of transformer oil insulation, the effect of temperature changes on transformer oil breakdown voltage was examined. The transformer oil used as a test object is a type of oil that often used as an insulating medium, such as mineral, synthetic, and vegetable oil.*

*The test was performed based on standard of IEC 156 by using mushroom-shaped electrodes with a gap of 2.5 mm. Prior to testing, the sample was heated with a gradual rise in temperature with a 30 minute heating time. After that, test the water content to determine the effect of water content to obtain the breakdown voltage. The test results explain that the rise in temperature causes the value of oil breakdown voltage increases, caused by lower water content. Vegetable oil has highest average value of the breakdown voltage compared with mineral and synthetic oils in accordance with the flash point value in all three types of oil.*

***Keywords : Breakdown voltage, insulation of transformer oil, temperature change.***

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **KATA PENGANTAR**

Dengan segala kerendahan harti, penulis melantunkan puji syukur ke hadirat Allah Subhannahu wa Ta'ala, Allah yang Maha Suci dan Maha Tinggi, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Strata-1 Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

### **ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR TERHADAP TEGANGAN TEMBUS PADA ISOLASI MINYAK TRANSFORMATOR JENIS MINERAL, SINTETIS, DAN NABATI**

Dalam proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis mendapat beberapa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karenanya pada kesempatan yang penuh kebanggaan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu, Ayah, dan adik, serta keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan yang tak ternilai harganya.
2. Bapak Daniar Fahmi, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc. atas segala bimbingan ilmu dan nasihat yang sangat berarti.
3. Bu Sorati selaku pihak dari P.T. Bambang Djaja yang telah memberikan dukungan dan kelengkapan bahan uji untuk penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Teman-teman lintas jalur 2016 yang telah memberikan dukungan tanpa henti.
5. Seluruh pihak terkait yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih perlu mengalami beberapa penyempurnaan, oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik serta saran yang bersifat konstruktif agar Tugas Akhir ini dapat lebih bermanfaat di kemudian hari.

Surabaya, 4 Juli 2018

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Laporan .....	5
1.7 Relevansi .....	5
 <b>BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI PENUNJANG</b>	
2.1 Kajian Pustaka .....	7
2.2 Media Isolasi Cair.....	8
2.3 Karakteristik Fisik Isolasi Minyak.....	9
2.4 Karakteristik Elektris Isolasi Minyak .....	10
2.5 Karakteristik Kimia Isolasi Minyak.....	11
2.6 Mekanisme Kegagalan Isolasi Cair .....	12
2.7 Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator .....	13
 <b>BAB III METODE DAN LANGKAH PENGUJIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Pengujian Tegangan Tembus .....	15
3.2 Studi Literatur dan Kajian Pustaka .....	16
3.3 Persiapan Alat dan Bahan Uji.....	16
3.3.1 Alat Uji.....	16
3.3.2 Bahan Uji .....	22
3.4 Pengondisian Baham Uji dan Set Temperatur .....	24
3.5 Proses Pengujian Tegangan Tembus .....	25
3.6 Pengumpulan dan Plot Data Pengujian.....	27
3.7 Analisis dan Evaluasi Data .....	28

#### **BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA**

4.1 Analisis Pengujian Minyak Mineral .....	29
4.2 Analisis Pengujian Minyak Sintetis .....	33
4.3 Analisis Pengujian Minyak Nabati .....	39
4.4 Analisis Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Mineral, Sintetis, dan Nabati .....	44

#### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	51
5.2 Saran .....	52

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	53
-----------------------------	----

<b>LAMPIRAN</b> .....	55
-----------------------	----

<b>RIWAYAT HIDUP PENULIS</b> .....	63
------------------------------------	----



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Perancangan Elektroda Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator .....	4
<b>Gambar 2.1</b>	Pengujian Tegangan Tembus .....	13
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Pengujian Tegangan Tembus .....	15
<b>Gambar 3.2</b>	Gelas Beaker 1000 ml .....	17
<b>Gambar 3.3</b>	Oven Listrik 1300 watt .....	18
<b>Gambar 3.4</b>	Termometer Infra Merah .....	18
<b>Gambar 3.5</b>	(a) Modul Pembangkitan AC (b) <i>Control Box</i> .....	20
<b>Gambar 3.6</b>	Rangkaian Pembangkitan Tegangan AC (HAEFELY DMI 551) .....	20
<b>Gambar 3.7</b>	Modul Pengujian .....	21
<b>Gambar 3.8</b>	Elektroda Uji Bentuk Jamur .....	21
<b>Gambar 3.9</b>	Modul Uji Alternatif .....	22
<b>Gambar 3.10</b>	Minyak Jenis Mineral dan Informasi Spesifikasi .....	23
<b>Gambar 3.11</b>	Minyak Jenis Nabati dan Informasi Spesifikasi .....	23
<b>Gambar 3.12</b>	Minyak Jenis Sintetis dan Informasi Spesifikasi .....	24
<b>Gambar 3.13</b>	Proses Pengukuran Temperatur Sampel Uji .....	26
<b>Gambar 3.14</b>	Perangkat Pengujian Tegangan Tembus .....	27
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Pengujian Tegangan Tembus Minyak Mineral .....	30
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Regresi Polynomial Orde 2 Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Mineral .....	33
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Pengujian Tegangan Tembus Minyak Sintetis .....	37
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Regresi Polynomial Orde 2 Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Sintetis .....	37
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Pengujian Tegangan Tembus Minyak Nabati .....	40
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Regresi Polynomial Orde 2 Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Nabati .....	43
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Tegangan Tembus Minyak Mineral, Sintetis, dan Nabati .....	47
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik Regresi Tegangan Tembus Terhadap Perubahan Temperatur Gabungan 3 Jenis Minyak ....	47

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Skema Pengondisian dan Set Temperatur Bahan Uji ...	25
<b>Tabel 4.1</b>	Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Mineral ....	30
<b>Tabel 4.2</b>	Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Sintetis.....	34
<b>Tabel 4.3</b>	Data Pengujian Tegangan Tembus Minyak Nabati .....	40
<b>Tabel 4.4</b>	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Jenis Mineral, Sintetis, dan Nabati .....	45
<b>Tabel 4.5</b>	Nilai Titik Nyala pada Parameter <i>Datasheet</i> Minyak...	46
<b>Tabel 4.6</b>	Nilai Kadar Air Masing-Masing Sampel Uji.....	48

----- Halaman ini sengaja dikosongkan -----

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Transformator merupakan suatu peralatan listrik tegangan tinggi yang memiliki peranan sangat penting dalam menkonversi level tegangan. Energi listrik yang dibangkitkan dari sistem pembangkit memerlukan transformator untuk menaikkan level tegangan agar dapat disalurkan ke sistem transmisi dengan menggunakan transformator daya. Begitu juga dari sistem transmisi, energi listrik memerlukan transformator untuk menurunkan level tegangan menggunakan transformator distribusi agar dapat dikonsumsi oleh masyarakat, baik itu skala industri maupun rumah tangga. Sesuai dengan program pemerintah bahwa akan ada pembangunan pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas total 35.000 MW dengan target elektrifikasi 96.6 % di tahun 2019 [1], maka persebaran energi listrik di Indonesia diharapkan akan semakin merata. Dengan demikian, dengan semakin bertambahnya jumlah pembangkit tenaga listrik, maka sistem transmisi dan distribusi pun akan semakin luas. Hal ini berarti investasi dari pemerintah untuk persebaran energi listrik di Indonesia pun akan semakin besar, tidak terkecuali dalam pengadaan unit transformator untuk mendukung setiap sistem transmisi dan distribusi yang dibangun.

Setiap transformator yang diproduksi akan memperhatikan beberapa faktor diantaranya kapasitas transformator yang berkaitan pada besar beban yang akan ditanggung oleh transformator tersebut. Selain itu, faktor lain yang tidak kalah pentingnya adalah ketahanan isolasi dari transformator karena transformator dioperasikan secara terus menerus dalam jangka panjang. Transformator yang memiliki tingkat ketahanan isolasi yang buruk, maka dikhawatirkan akan terjadi kegagalan isolasi yang mengakibatkan beberapa kerugian diantaranya terjadinya pemadaman atau bahkan kerusakan serius pada transformator. Kegagalan isolasi yang terjadi pada transformator terjadi karena ada adanya rugi-rugi sehingga berdampak pada timbulnya panas berlebihan pada transformator. Beban berlebih, pelepasan beban seketika, ketidakseimbangan beban dan lain sebagainya merupakan faktor eksternal penyebab terjadinya kenaikan temperatur pada transformator,

sedangkan faktor internal disebabkan oleh adanya arus “*eddy*”, rugi-rugi histerisis, pemanasan dielektrik, kondisi media isolasi minyak yang kurang baik, dan sebagainya. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pendinginan untuk mengatasi kenaikan temperatur pada transformator yaitu dengan penggunaan media isolasi minyak.

Selain sebagai media pendingin, minyak transformator dapat difungsikan sebagai media isolasi [2]. Hal ini dikarenakan minyak transformator memiliki karakteristik tegangan tembus (*breakdown voltage*) lebih dari 50 kV/cm yang lebih baik dari udara yaitu 27 kV/cm [3]. Pada kebanyakan transformator menggunakan media isolasi minyak jenis mineral karena mudah didapat dan harganya relatif murah. Namun pada perkembangannya, kebutuhan akan media isolasi minyak ini semakin besar dengan kebutuhan karakteristik yang lebih unggul daripada minyak transformator jenis mineral. Beberapa diantaranya adalah media isolasi minyak transformator jenis sintetis dan nabati. Penggunaan alternatif minyak transformator ini berdasarkan atas permintaan minyak transformator dengan karakteristik yang lebih baik dari minyak jenis mineral dan penggunaan yang ramah lingkungan. Selain itu, kenaikan temperatur pada transformator adalah hal yang perlu menjadi perhatian khusus karena akan berdampak pada kekuatan dielektrik dari media isolasi minyak sehingga dapat mempengaruhi karakter elektrik atau tegangan tembus dari minyak.

Berdasarkan uraian di atas, untuk mengetahui karakteristik pengaruh perubahan temperatur terhadap tegangan tembus masing-masing media isolasi minyak transformator jenis sintetis, mineral, dan nabati, maka dilakukan pengujian dengan judul “Analisis Tegangan Tembus pada Isolasi Minyak Transformator Jenis Sintetis, Mineral dan Nabati Terhadap Pengaruh Perubahan Temperatur”. Pengujian akan dilakukan dengan menggunakan standar uji dari IEC 156 dengan perubahan suhu berada pada rentang suhu ruangan sampai 120°C atau dengan pertimbangan batas dari titik nyala dari masing-masing minyak. Data hasil pengujian yang diperoleh akan dianalisis dan dilakukan perbandingan sehingga didapatkan karakteristik hubungan perubahan temperatur terhadap tegangan tembus pada masing-masing jenis isolasi minyak transformator.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana menentukan nilai tegangan tembus pada isolasi minyak jenis sintetis, mineral, dan nabati.
2. Bagaimana mengetahui karakteristik hubungan tegangan tembus antara isolasi minyak jenis sintetis, mineral, dan nabati.
3. Bagaimana mengetahui hubungan perubahan temperatur terhadap tegangan tembus masing-masing jenis isolasi minyak.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Pengujian dan analisis tegangan tembus dilakukan pada isolasi minyak transformator jenis sintetis, mineral, dan nabati.
2. Saat pengujian, minyak transformator dan elektroda tidak dalam kondisi vakum yang sempurna karena keterbatasan alat uji.
3. Tekanan udara, kelembaban, dan temperatur ruangan tidak disesuaikan dengan kondisi pengujian karena keterbatasan ruangan pengujian.
4. Untuk kenaikan temperatur pengujian, tidak memperhatikan lama pemanasan pada media minyak transformator yang diuji.
5. Elektroda yang digunakan saat pengujian adalah jenis setengah bola dengan diameter 25 mm dengan jarak celah 2.5 mm.
6. Kuantitas pengujian dilakukan dengan menyesuaikan ketersediaan minyak transformator yang diperoleh sebagai bahan uji untuk memperoleh data pengujian.

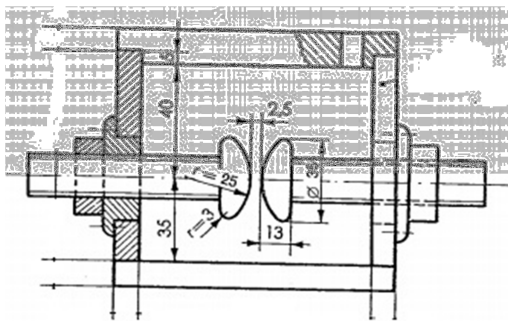
## **1.4 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

1. Dapat menentukan nilai tegangan tembus pada isolasi minyak jenis sintetis, mineral, dan nabati untuk setiap variasi kenaikan temperatur yang diberikan.
2. Dapat mengetahui karakteristik hubungan tegangan tembus antara isolasi minyak jenis sintetis, mineral, dan nabati.
3. Dapat mengetahui hubungan perubahan temperatur terhadap tegangan tembus masing-masing jenis isolasi minyak.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi pengerjaan tugas akhir ini adalah dengan melakukan pengujian tegangan tembus untuk masing-masing isolasi minyak jenis sintetis, mineral, dan nabati. Pengujian dilakukan menggunakan peralatan uji tegangan tembus dengan elektroda setengah bola (*spherical shape*) sesuai dengan standar IEC 156 [4]. Diameter dari elektroda adalah 12.5 mm – 13 mm dengan tepi elektroda berbentuk bulat dengan diameter 3 mm. Tebal dari elektroda adalah 13 mm dengan jarak celah antar elektroda sebesar  $2.5 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ . Elektroda dipasang dengan posisi horizontal di dalam sebuah wadah yang mampu menampung minyak uji sebanyak 350 - 600 ml. Volume minyak uji diatur sedemikian rupa sehingga jarak antara tepi atas elektroda dan permukaan minyak uji tidak kurang dari 40 mm.



Gambar 1. Perancangan elektroda pengujian tegangan tembus minyak transformator [4]

Pengujian tegangan tembus dilakukan pada masing-masing jenis isolasi minyak dengan variasi perubahan suhu yaitu suhu ruangan (*ambient*), 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 100°C dan 120°C. Masing-masing tahap pengujian akan dilakukan pengambilan data sebanyak lima kali, sehingga didapatkan beberapa data pengujian untuk dilakukan analisis. Dari data dan analisis yang diperoleh, didapatkan karakteristik hubungan perubahan temperatur terhadap tegangan tembus pada masing-masing jenis isolasi minyak.



## **1.6 Sistematika Laporan**

Penyelesaian Tugas Akhir ini dilakukan dengan sistematika sebagai berikut :

### **Bab I      Pendahuluan**

Dasar pemikiran dan tujuan dilakukannya penelitian pada Tugas Akhir ini diuraikan pada Bab ini.

### **Bab II     Teori Dasar dan Kajian Pustaka**

Bab Teori Dasar dan Kajian Pustaka berisi penjelasan teori penunjang yang terkait Tugas Akhir serta kajian beberapa penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya.

### **Bab III    Metode Pengujian**

Berisi tentang uraian mengenai metode pengujian tegangan tembus pada masing-masing bahan uji minyak yang dilakukan di laboratorium Tegangan Tinggi, Teknik Elektro, ITS .

### **Bab IV    Hasil Pengujian dan Analisis Data**

Berisi data hasil pengujian tegangan tembus beserta analisis untuk setiap data yang diperoleh.

### **Bab V     Penutup**

Dari data hasil pengujian yang diperoleh beserta analisis datanya, pada Bab ini diuraikan simpulan beserta saran mengenai pengerjaan Tugas Akhir.

## **1.7 Relevansi**

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh dari perubahan temperatur terhadap tegangan tembus dari isolasi minyak transformator. Selain itu, dilakukan juga pengujian tegangan tembus pada isolasi minyak jenis sintetis, mineral, dan nabati sehingga dari data dan analisis yang diperoleh dapat dijadikan bahan acuan untuk pengembangan lebih lanjut alternatif media isolasi minyak transformator.

----- Halaman sengaja dikosongkan -----

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI PENUNJANG**

Media isolasi yang sering digunakan untuk membangun sebuah transformator pada umumnya menggunakan media isolasi cair berbahan dasar minyak. Minyak yang digunakan pun memiliki variasi yang beraneka ragam. Salah satu jenis minyak yang sering digunakan adalah minyak transformator jenis mineral yang berasal dari olahan minyak bumi yang terdestilasi dan diolah sedemikian rupa sehingga mendapatkan karakteristik media isolasi minyak yang sesuai dengan kebutuhan dari transformator itu sendiri. Selain minyak transformator, juga dikembangkan minyak transformator jenis lain yang disesuaikan dengan kebutuhan produksi dari transformator. Jenis minyak alternatif selain minyak mineral adalah minyak sintetis yang merupakan minyak transformator berbahan dasar dari olahan bahan kimia dan minyak nabati yang merupakan minyak transformator berbahan dasar dari senyawa organik, khususnya dari ekstrak tumbuh-tumbuhan.

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Pada pengujian ini akan dilakukan analisis tegangan tembus pada media isolasi minyak transformator jenis sintetis, mineral, dan nabati terhadap pengaruh perubahan temperatur. Beberapa hal yang mempengaruhi karakteristik tegangan tembus dari minyak transformator adalah kekuatan dielektrik dari minyak tersebut. Berdasarkan penelitian [5], tegangan tembus suatu media isolasi minyak dipengaruhi oleh bentuk dan jumlah partikel yang mengkontaminasi media minyak. Sedangkan pada pengujian [6], terdapat bahasan mengenai pengaruh jenis kontaminan yang mengakibatkan degradasi kekuatan bahan dielektrik sehingga menyebabkan kegagalan isolasi. Kemudian, terdapat bahasan analisis minyak baru, minyak terpakai dan minyak yang telah dimurnikan yang menghasilkan data karakteristik tegangan yang berbeda untuk setiap jenis minyak. Selain itu, pada pengujian [7] dan penelitian [8], kondisi minyak transformator dapat diidentifikasi melalui pengujian secara elektrik dan fisik. Terdapat juga bahasan mengenai kenaikan temperatur yang berpengaruh terhadap proses terjadinya tegangan tembus. Kemudian tegangan tembus yang terjadi dipengaruhi

oleh kekuatan dielektrik minyak yang bergantung pada beberapa kondisi diantaranya eksistensi partikel dalam isolasi minyak.

Beberapa penelitian mengenai isolasi minyak nabati telah dilakukan, seperti pada penelitian [9], didapatkan nilai tegangan tembus yang berbeda antara minyak kelapa, kelapa sawit dan jagung dengan hasil minyak jagung yang memiliki karakteristik tegangan tembus terbaik dan memiliki potensi untuk dijadikan bahan isolasi alternatif. Pada penelitian yang lain [10], minyak nabati yang diuji pada minyak yang berasal dari *sunflower*, *canola*, dan *soybean* sehingga terdapat potensi yang besar pemanfaatan minyak nabati untuk minyak isolasi transformator karena sifatnya yang ramah lingkungan (*biodegradable*) dan memiliki karakteristik tegangan tembus yang tinggi.

## 2.2 Media Isolasi Cair

Sebagai salah satu bagian yang penting dari sebuah transformator, penggunaan media isolasi harus menjadi fokus perhatian. Media isolasi yang digunakan pada transformator konvensional adalah media isolasi cair yang berbahan dasar minyak atau sering disebut dengan minyak transformator. Secara garis besar, minyak transformator memiliki 3 fungsi utama, yaitu :

1. Sebagai isolator antara bagian yang bertegangan maupun antara bagian yang bertegangan dan yang tidak bertegangan di dalam tangki transformator.
2. Sebagai pendingin transformator dengan mekanisme pendinginan mensirkulasi panas yang ditimbulkan pada bagian tertentu transformator.
3. Sebagai pemadam busur api yang terjadi di dalam transformator karena adanya suatu permasalahan.

Oleh karena itu, minyak transformator setidaknya harus memiliki beberapa kriteria dan syarat utama agar dapat memenuhi fungsi-fungsi di atas, yaitu memiliki nilai tegangan tembus (*breakdown voltage*) yang tinggi, memiliki viskositas yang rendah, memiliki titik nyala (*flash point*) yang tinggi, memiliki berat jenis yang rendah, tidak bersifat asam, dan memiliki sifat kimia yang stabil.

Selain itu, isolasi minyak yang digunakan untuk transformator memiliki karakteristik yang menentukan keraja dari isolasi minyak, yaitu:

1. Kapasitansi listrik per volume  
Kapasitas listrik per volume menentukan nilai dari permitivitas relatif isolasi minyak. Sebagai contoh pada minyak petroleum, pada umumnya memiliki permitivitas relatif antara 2 sampai 2.5, sedangkan untuk minyak silikon memiliki permitivitas relatif antara 2 sampai 73 dan minyak askarel bernilai 4.5 sampai 5.
2. Resistivitas  
Jenis fluida cair dapat digunakan sebagai isolasi cair apabila memiliki nilai resistivitasnya lebih besar dari  $10^9 \Omega\cdot m$ . Pada sistem tegangan tinggi, resistivitas yang diperlukan untuk material isolasi adalah  $10^{16} \Omega\cdot m$  atau lebih.
3. Faktor disipasi ( $\tan \delta$ )  
Faktor disipasi adalah faktor yang menentukan besarnya rugi-rugi dielektrik pada bahan isolasi yang dialiri oleh tegangan bolak-balik (AC). Faktor disipasi merupakan parameter yang penting sebagai contoh pada minyak transformator murni pada frekuensi 50 Hz memiliki faktor disipasi sebesar  $10^{-4}$  pada suhu  $20^\circ C$  dan  $10^{-3}$  pada suhu  $90^\circ C$
4. Daya tembus listrik  
Daya tembus listrik pada isolasi minyak merupakan kemampuan untuk tidak mengalami tembus listrik pada saat isolasi minyak dalam kondisi tekanan listrik (electric stress) yang tinggi.cair

## 2.3 Karakteristik Fisik Isolasi Minyak [11]

Untuk mengetahui kualitas dari isolasi minyak transformator, dapat kita amati dari karakteristik fisik isolasi minyak tersebut, diantaranya :

### a. Kejernihan fluida

Kejernihan minyak transformator dapat kita amati melalui warna dari minyak tersebut. Kejernihan isolasi minyak yang baik, memiliki penampkan yang jernih, bersih, dan bebas dari endapan. Isolasi minyak transformator akan melarutkan endapan selama transformator beroperasi dan jika semakin banyak endapan yang terlarut, maka warna isolasi minyak pun akan semakin keruh.

b. Massa jenis

Massa jenis merupakan suatu konstanta perbandingan antara massa suatu fluida dengan volume dari fluida tersebut pada suhu tertentu. Berdasarkan SPLN 49 – 91 : 1982, massa jenis isolasi minyak harus lebih ringan daripada massa jenis air, yaitu tidak boleh melebihi  $0.859 \text{ gr/cm}^3$ .

c. Viskositas kinematik

Viskositas atau kekentalan sangat berpengaruh terhadap kemurnian isolasi minyak (banyaknya kontaminan partikel padat). Isolasi minyak yang baik harus memiliki viskositas yang rendah sehingga kemungkinan isolasi minyak untuk terkontaminasi sangat kecil. Selain itu dengan semakin rendahnya viskositas isolasi minyak, maka sirkulasi akan berlangsung dengan baik, sehingga proses pendinginan pada transformator berjalan sempurna.

d. Titik tuang (*Pour Point*)

Titik tuang merupakan batas dari isolasi minyak masih dapat mengalir pada temperatur yang rendah. Semakin rendah nilai titik tuang, maka semakin baik isolasi minyak transformator.

e. Titik nyala (*Flash Point*)

Titik nyala merupakan batas dari proses pemanasan isolasi minyak sehingga uap air yang timbul akan menyebabkan nyala api yang berbahaya. Semakin tinggi nilai titik nyala, maka semakin baik isolasi minyak transformator.

## 2.4 Karakteristik Elektris Isolasi Minyak [11]

Kualitas suatu isolasi minyak transformator dapat kita ketahui dari karakteristik elektrik minyak tersebut, yaitu :

a. Faktor kebocoran dielektrik (*Dielectric Dissipation Factor*)

Nilai dari faktor kebocoran dielektrik ini menunjukkan adanya kontaminasi atau kerusakan yang disebabkan oleh adanya air, hasil oksidasi, logam alkali dan sebagainya. Nilai kebocoran dielektrik berhubungan dengan tahanan jenis, sehingga tingginya faktor kebocoran dielektrik akan menunjukkan rendahnya tahanan jenis minyak.

b. Tegangan permukaan

Tegangan permukaan dipengaruhi oleh adanya kontaminasi zat terlarut dan gas bebas. Menurunnya nilai tegangan permukaan akan berakibat sebagai indikator awal dari kerusakan isolasi minyak.

c. Tahanan jenis

Nilai tahanan jenis menunjukkan adanya kontaminan yang bersifat konduktif. Semakin banyak jumlah kontaminan konduktif, maka akan semakin rendah tahanan jenis isolasi minyak tersebut.

d. Tegangan tembus

Nilai tegangan tembus merupakan batas kemampuan dari isolasi minyak untuk menahan tekanan elektrik yang dipengaruhi oleh adanya kontaminan baik itu berupa partikel padat, kandungan air, maupun kontaminan konduktif. Semakin banyak kontaminan pada minyak transformator, maka semakin rendah tegangan tembus dari isolasi minyak tersebut.

## 2.5 Karakteristik Kimia Isolasi Minyak [11]

Isolasi minyak pada transformator memiliki beberapa karakteristik kimia antara lain :

a. Stabilitas Oksidasi

Stabilitas oksidasi merupakan nilai untuk mempertahankan dari proses oksidasi yang terjadi pada minyak transformator. Proses oksidasi menyebabkan bertambahnya kecenderungan untuk membentuk senyawa asam dan zat padat. Senyawa asam akan menyebabkan korosi pada logam di dalam transformator sedangkan zat padat akan menyebabkan bertambahnya viskositas kinematik sehingga konduktivitas termal menjadi terganggu.

b. Angka Kenetralan (pH)

Angka kenetralan merupakan nilai yang menunjukkan kadar penyusun asam minyak isolasi, dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia, dan cacat kimia atau terdapatnya indikasi perubahan kimia dalam penambahan bahan tambahan (*additive*). Angka kenetralan sebagai penunjuk umum untuk menentukan pergantian atau purifikasi isolasi minyak.

c. Kandungan Air

Nilai kandungan air berpengaruh terhadap tegangan tembus dan tahanan jenis isolasi minyak. Naiknya temperatur akan menyebabkan air mengalir dari isolasi kertas menuju isolasi minyak dan menurunkan tegangan tembus. Isolasi minyak yang baik mempunyai nilai kandungan air serendah mungkin

## 2.6 Mekanisme Kegagalan Isolasi Cair

Isolasi cair banyak digunakan karena isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih bila dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi. Selain itu isolasi cair dapat mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul.

Kegagalan isolasi disebabkan karena beberapa hal, antara lain isolasi sudah lama dipakai, berkurangnya kekuatan dielektrik dan karena isolasi tersebut dikenakan tegangan lebih. Pada prinsipnya, tegangan pada isolator merupakan suatu tarikan atau tekanan yang harus dilawan oleh gaya dalam isolator itu sendiri agar tidak terjadi tembus tegangan.

Dalam struktur material isolasi, elektron-elektron terikat erat pada molekulnya. Ikatan ini mengadakan perlawanan terhadap tekanan yang disebabkan oleh adanya tegangan lebih. Bila ikatan initerputus, maka sifat isolasi akan menghilang. Bila pada bahan isolasi tersebut diberikan tegangan, maka akan terjadi perpindahan elektron dari suatu molekul ke molekul lainnya sehingga timbul arus konduksi atau arus bocor. Karakteristik isolator akan berubah bila material tersebut terkontaminasi oleh suatu zat atau kelembaban dalam isolasi yang dapat menurunkan nilai tegangan tembus.

Mekanisme *streamer breakdown* menjelaskan mengenai pengembangan pelepasan percikan langsung dari banjiriran tunggal dengan muatan ruang yang terjadi karena banjiriran itu sendiri mengubah banjiriran menjadi streamer plasma. Setelah itu hantaran meningkat dengan cepat dan kegagalan elektris terjadi dalam alur banjiriran ini. Ciri utama teori kegagalan streamer adalah postulasi sejumlah besar fotonisasi molekul dalam ruang di depan streamer dan pembesaran medan listrik setempat oleh muatan ruang ion pada ujung elektroda.



## 2.7 Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator

Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolasi minyak untuk menahan tegangan tertentu hingga terjadi *breakdown* atau tegangan tembus. Tegangan tembus adalah suatu fenomena apabila medan magnet (tegangan) dinaikkan terus menerus, atom-atom akan terionisasi dan isolator sampai pada batas tertentu menahan tegangan hingga berubah menjadi konduktor. Perbedaan tegangan tembus tersebut dapat disebabkan oleh kandungan yang berbeda-beda, seperti kandungan minyak baru, kandungan minyak bekas, kandungan minyak mineral, kandungan minyak sintetis, kandungan minyak nabati, kandungan minyak yang berkontaminan dan lain-lain.

Kontaminan yang terkandung di dalam minyak juga bermacam-macam antara lain, air, zat padat, serabut-serabut halus (*carbon*) hasil pengujian tegangan tembus sebelumnya. Pada pengujian tegangan tembus dilakukan berdasarkan standar IEC 156 yakni menggunakan dua buah elektrode berbentuk jamur dan jarak sela yang digunakan adalah 2.5 mm  $\pm$  0.5 mm. Pada pengujian tegangan tembus, diinjeksikan tegangan dengan nilai maksimum yang aman adalah 50 kV. Tegangan diinjeksikan secara bertahap sebesar 2kV setiap kenaikan tegangan hingga timbul tegangan tembus antara kedua elektrode. Gambar 2.1 menunjukkan bagian dari modul pengujian tegangan tembus pada Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS.



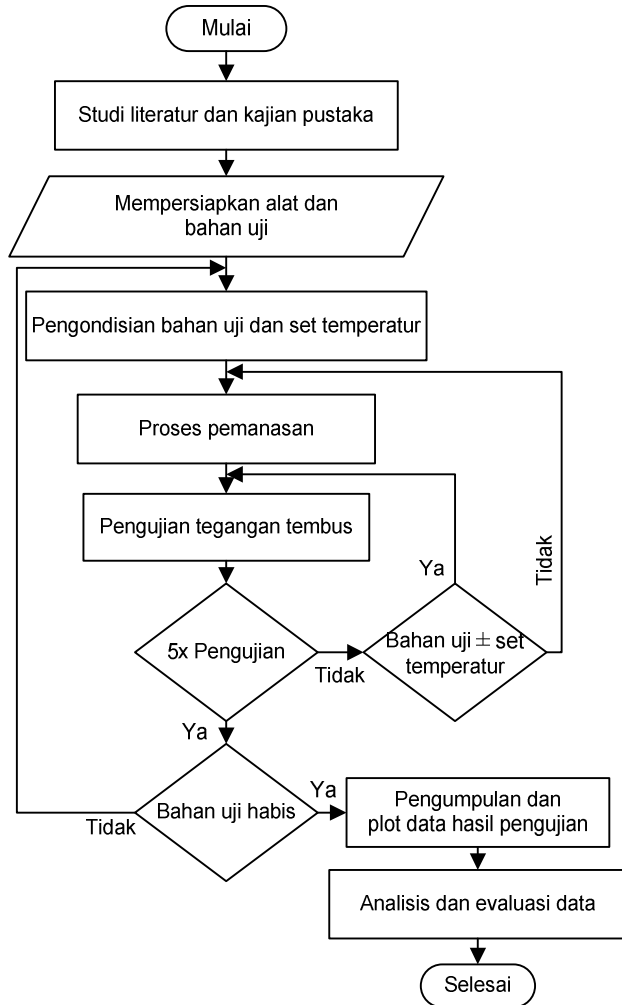
**Gambar 2.1** Pengujian Tegangan Tembus

\*\*\* Halaman sengaja dikosongkan \*\*\*

### BAB III

## METODE DAN LANGKAH PENGUJIAN

### 3.1 Diagram Alir Pengujian Tegangan Tembus



**Gambar 3.1** Diagram alir pengujian tegangan tembus

Secara garis besar, diagram alir pada Gambar 3.1 menjelaskan metode dan langkah untuk memperoleh data hasil pengujian mulai dari tahap persiapan, pengujian, hingga tahap analisis dan evaluasi data hasil pengujian. Metode dan langkah pengujian yang dibuat ini bertujuan agar bahan uji mengalami perlakuan yang sama agar data hasil pengujian dapat dibandingkan dan dianalisis. Pembahasan berikutnya merupakan penjelasan dari setiap tahapan proses yang disajikan pada diagram alir.

## **3.2 Studi Literatur dan Kajian Pustaka**

Sebelum memulai pengerjaan penelitian ini, perlu dilakukan beberapa studi literatur dari beberapa sumber buku yang memiliki relevansi dengan penelitian ini. Selain itu, dilakukan beberapa kajian pustaka yang bersumber dari beberapa jurnal dan standar yang berhubungan dengan topik pada penelitian mengenai pengaruh perubahan temperatur terhadap nilai tegangan tembus berbagai macam minyak transformator ini. Tahap ini dijelaskan secara lengkap pada BAB II laporan penelitian ini.

## **3.3 Persiapan Alat dan Bahan Uji**

Sebelum pengujian dilakukan, maka tahapan berikutnya adalah mempersiapkan alat dan bahan uji. Alat uji merupakan peralatan yang digunakan untuk keperluan pengujian sedangkan bahan uji merupakan obyek uji yang digunakan untuk pengamatan tegangan tembus yang terjadi, yaitu minyak transformator jenis mineral, sintetis dan nabati. Penjabaran alat dan bahan uji adalah sebagai berikut

### **3.3.1 Alat Uji**

Beberapa peralatan uji yang digunakan pada pengujian tegangan tembus ini antara lain :

#### **3.3.1.1 Bejana Uji**

Wadah yang digunakan untuk tempat bahan uji terbuat dari kaca berwarna bening yang memiliki kemampuan tahan panas hingga suhu 200° C. Wadah ini berjenis AGC IWAKI CTE33 berbentuk tabung dengan diameter 12 cm dengan volume cairan maksimal yang dapat ditampung adalah 1 liter (1000 ml). Gelas beaker ini digunakan sebagai wadah untuk memanaskan bahan uji di dalam oven listrik pada suhu yang telah ditetapkan dan pada saat pengujian tegangan tembus, bahan uji

akan diletakkan pada modul pengujian bersamaan dengan wadah ini. Pemilihan gelas beaker dengan tipe ini adalah karena bahan nya yang mampu tahan pada proses pemanasan hingga suhu 200°C. Gambar 3.2 menunjukkan visual dari gelas beaker tersebut.

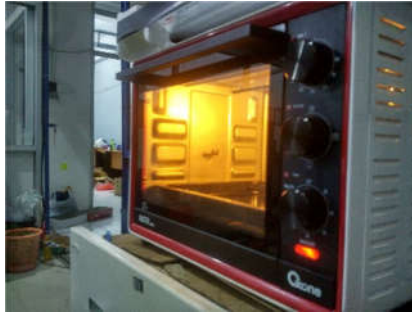


**Gambar 3.2** Gelas Beaker 1000 ml

### **3.3.1.2 Oven Listrik**

Untuk memberikan efek perubahan kenaikan temperatur pada bahan uji, maka diperlukan suatu alat pemanas. Dalam hal ini, digunakan oven listrik sebagai alat pemanas karena bentuk yang tidak terlalu memakan tempat dan proses pemanasannya yang efektif. Oven listrik ini memiliki kapasitas sebesar 30 liter sehingga dalam satu kali proses pemanasan, tiga sampai empat bahan uji yang diletakkan pada gelas beaker dapat mengalami proses pemanasan. Oven listrik ini bertipe Ox-8830 dengan merk “*Oxone Oven Master*”, dengan konsumsi daya sebesar 1300 watt. Pemanasan pada oven listrik ini dapat diatur dengan memutar *knob* oven dengan pengaturan suhu maksimal mencapai 230°C. Selain itu, oven listrik ini dilengkapi dengan fitur pengaturan lama pemanasan hingga 120 menit atau dapat dinyalakan secara terus menerus.

Pada oven listrik ini pemanasan dapat diatur untuk model pemanasannya. Agar temperatur yang terukur pada sampel uji memiliki nilai yang homogen, maka pemanasan pada oven listrik diatur pada semua arah ruang pemanasan sehingga seluruh bagian sampel uji mengalami pemanasan yang seragam. Dari luar pun dapat diamati secara visual untuk sampel uji yang mengalami pemanasan.



**Gambar 3.3** Oven listrik 1300 watt

### **3.3.1.3 Alat Ukur Temperatur**

Bahan uji yang dipanaskan memerlukan pengukuran temperatur secara *real time* agar temperatur bahan uji lebih akurat pada temperatur yang ditentukan. Alat untuk mengukur temperatur ini menggunakan termometer infra merah dengan merk Fluke, seri “62 Mini IR Thermometer”. Penggunaan alat ukur ini sangat mudah karena cukup dengan mengarahkan sinar infra merah pada obyek ukur, maka nilai temperatur pada obyek ukur dapat diperoleh.

Pertimbangan penggunaan alat ukur temperatur dengan memanfaatkan sinar infra merah ini adalah agar pengukuran temperatur menjadi lebih efektif, karena alat ukur tidak perlu mengalami kontak langsung dengan obyek yang diukur. Selain itu, keuntungan lain dalam penggunaan termometer infra merah ini adalah lebih aman jika pengukuran dilakukan di temperatur yang tinggi atau titik pengukuran berada di posisi yang sulit dijangkau oleh alat ukur. Penggunaan termometer infra merah ini memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan termometer dengan memanfaatkan air raksa yang memiliki batasan pada titik didih air raksa tersebut, sehingga rentang suhu yang dapat diukur tidak sebesar penggunaan termometer infra merah.



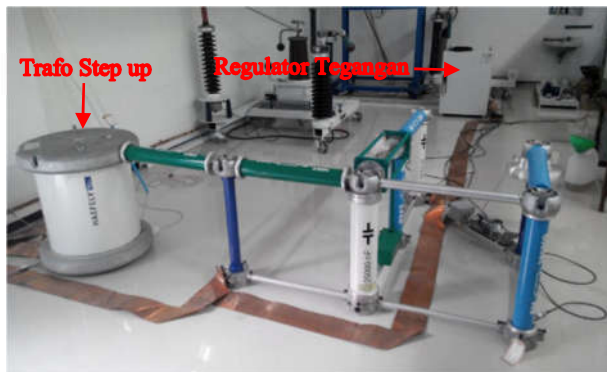
**Gambar 3.4** Termometer infra merah

#### 3.3.1.4 Modul Pembangkitan Tegangan AC dan Modul Pengujian

##### Modul Pembangkitan AC

Modul pembangkitan tegangan AC yang digunakan untuk menaikkan tegangan hingga terjadi tegangan tembus pada bahan uji adalah modul pembangkitan dengan merk HAEFELY dengan seri DMI 551. Tegangan yang dibangkitkan berasal dari tegangan PLN, 220 volt yang kemudian dinaikkan melalui transformator step up untuk menghasilkan tegangan luaran yang lebih tinggi daripada tegangan masukan. Sebelum memasuki transformator step up, maka tegangan masukan melalui regulator tegangan terlebih dahulu sehingga nilai tegangan dapat diturunkan ataupun dinaikkan.

Proses menurunkan atau menaikkan tegangan ini dikontrol oleh *control box* yang berada di ruangan kontrol. Setelah itu, rangkaian akan masuk ke transformator step up dengan spesifikasi dapat membangkitkan tegangan hingga 100 kV atau sesuai perbandingan belitan yaitu 220/100.000 V. Kemudian, output dari transformator step up diteruskan ke resistor 2.4 k $\Omega$  dan masuk ke rangkaian kapasitor. Fungsi dari komponen resistor ini adalah untuk mengamankan peralatan tegangan tinggi, baik itu trafo pembangkit tegangan maupun regulator tegangan dari arus hubung singkat yang terjadi saat fenomena tegangan tembus terjadi. Pada rangkaian modul pembangkit AC ini dilengkapi dengan komponen kapasitor yang berfungsi sebagai rangkaian pembagi tegangan yang nilai kapasitansinya dapat diatur melalui *control box*, sehingga dari rangkaian pembagi tegangan tersebut dapat diperoleh tegangan yang diinginkan.



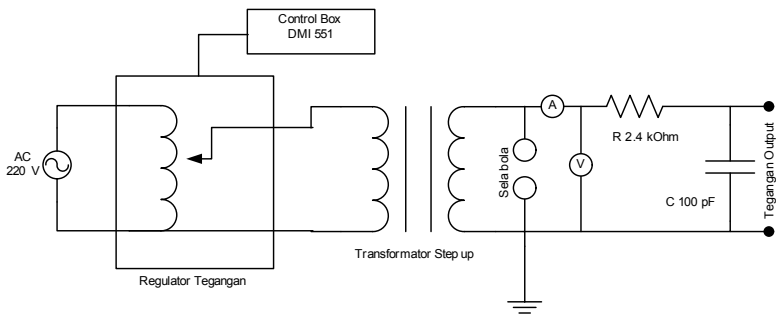
(a)



(b)

**Gambar 3.5** (a) modul pembangkitan AC (b) *control box* modul

Agar lebih mudah memahami mengenai modul pembangkitan AC ini, maka dapat dijelaskan pada Gambar 3.6 berikut yang merupakan rangkaian dari modul pembangkitan AC.

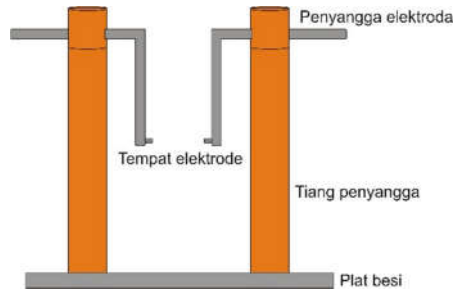


**Gambar 3.6** Rangkaian pembangkitan tegangan AC (HAEFELY DMI 551)

### Modul Pengujian

Tegangan yang telah dibangkitkan akan diteruskan ke bahan uji untuk dilakukan pengamatan tegangan tembus yang terjadi. Untuk memudahkan proses pengujian dan pengamatan tegangan tembus maka dibuat modul pengujian dengan rancangan seperti pada Gambar 3.7 sebagai berikut.

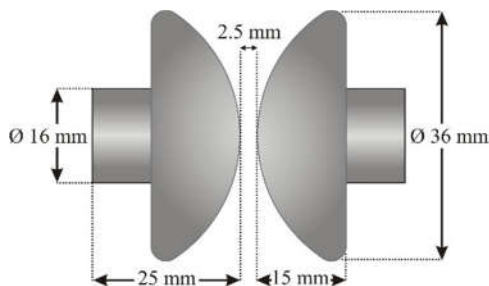




**Gambar 3.7** Modul pengujian

Modul pengujian terdiri dari beberapa bagian yaitu bagian alas yang merupakan plat besi berukuran 40 x 20 x 2 cm. Kemudian tiang penyangga yang terbuat dari bahan “Novotex”, yaitu bahan isolator yang terbentuk dari campuran bahan kain dan resin yang dikompres. Dimensi dari tiang penyangga ini memiliki diameter 5 cm dengan ketinggian sekitar 35 cm. Selanjutnya adalah penyangga elektroda yang terbuat dari *stainless steel* dengan *grade* 304 berdiameter 1.2 cm. Penyangga elektroda ini berfungsi sebagai tempat peletakan elektroda yang dapat diatur posisinya sehingga jarak sela antar elektroda pun dapat diatur.

Elektroda yang digunakan merupakan elektroda berbentuk jamur dengan dimensi elektroda disesuaikan dengan standar pengujian tegangan tembus IEC 156. Elektroda ini dibuat dari bahan *stainless steel* dengan *grade* 304. Gambar 3.8 merupakan desain dari elektroda berbentuk jamur.



**Gambar 3.8** Elektroda uji bentuk jamur

Sesuai dengan standar pengujian tegangan tembus, IEC 156, maka dibuat modul pengujian dengan penyangga elektroda yang

tersusun horizontal terhadap bejana uji. Bejana uji pada modul ini terbuat dari bahan akrilik dengan ketebalan 10 mm dengan pegangan batang stainless steel nya terbuat dari bahan High-Density Polyethylene dengan dilengkapi ulir sehingga batang stainless steel dapat diatur jarak pergeserannya. Modul pengujian ini memiliki dimensi wadah 100 mm x 100 mm x 120 mm, dengan penempatan elektroda berada pada ketinggian tidak kurang dari 15 mm dari dasar wadah.

Pembuatan modul uji ini dimaksudkan sebagai alternatif modul uji jika penggunaan modul uji sebelumnya mengalami kendala, seperti tegangan tembus yang terjadi tidak pada elektroda yang terendam dalam minyak tetapi terjadi pada sela antar penyangga elektroda.



**Gambar 3.9** Modul uji alternatif

### **3.3.2 Bahan Uji**

Bahan uji pada penelitian ini merupakan media isolasi minyak transformator. Minyak transformator yang dijadikan bahan uji adalah jenis minyak yang sering dfungsikan sebagai minyak transformator, yaitu minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis. Ketiga jenis isolasi minyak ini diperoleh dari P.T. Bambang Djaja Transformer, Surabaya, sebanyak 5 liter untuk masing-masing jenis minyak. Deskripsi untuk masing-masing jenis minyak transformator adalah sebagai berikut.

#### **3.3.2.1 Minyak Transformator Jenis Mineral**

Minyak mineral yang digunakan sebagai bahan uji adalah minyak mineral “Nynas, Distro DT-11”. Minyak jenis ini adalah minyak yang sering digunakan untuk produksi transformator distribusi oleh PLN. Minyak mineral merupakan minyak yang berbahan dasar dari pengolahan minyak bumi yang diformulasikan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan sebagai media isolasi minyak transformator.

Pada Gambar 3.10 menjelaskan beberapa parameter minyak yang dikutip dari *datasheet* minyak transformator tersebut.



Appearance	Clear, free from sediment
Density (kg/dm <sup>3</sup> )	0.875
Flash point (°C)	140
Water cnt (mg/kg)	<20
Viscosity (mm <sup>2</sup> /s)	11.5
BDV (kV)	40-60

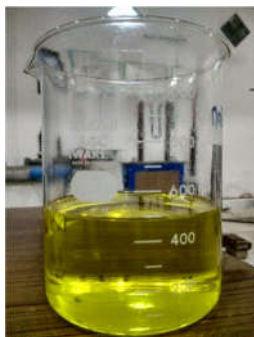


PRODUCT DATA SHEET  
Distro DT-II

**Gambar 3.10** Minyak jenis mineral dan informasi spesifikasi

### 3.3.2.2 *Minyak Transformator Jenis Nabati*

Minyak ini berbahan dasar dari formulasi ekstrak minyak *canola*. Minyak ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan minyak transformator lainnya, yaitu dapat terurai di alam secara alami sehingga ramah untuk lingkungan, serta memiliki stabilitas termal dan oksidasi yang baik. Pada aplikasinya, minyak transformator jenis nabati ini digunakan pada transformator distribusi dan transformator daya. Pada Gambar 3.11 menjelaskan beberapa parameter minyak yang dikutip dari *datasheet* minyak transformator tersebut.



Appearance	Clear, free from sediment
Density (kg/dm <sup>3</sup> )	0.9187
Flash point (°C)	268
Water cnt (mg/kg)	60
Viscosity (mm <sup>2</sup> /s)	35.30
BDV (kV)	50



미창석유공업주식회사  
MICHANG OIL IND. CO., LTD.

MICTRANS-VF

**Gambar 3.11** Minyak jenis nabati dan informasi spesifikasi

### 3.3.2.3 Minyak Transformator Jenis Sintetis

Minyak transformator jenis sintetis yang digunakan untuk pengujian tegangan tembus berbahan dasar cairan silikon. Minyak sintetis ini diproduksi dengan *brand* “Xiameter” dan seri fluida PMX-561. Minyak ini juga biasa disebut dengan “*Polydimethylsiloxane liquid*”. Minyak sintetis ini selain digunakan sebagai isolasi minyak transformator, juga digunakan pada peralatan elektrik lain yang dioperasikan pada temperatur tinggi maupun temperatur yang sangat rendah. Gambar 3.12 menjelaskan beberapa parameter minyak yang dikutip dari *datasheet* minyak transformator tersebut.



Appearance	Crystal, clear liquid
Density (kg/dm <sup>3</sup> )	0.96
Flash point (°C)	101
Water cnt (mg/kg)	30
Viscosity (mm <sup>2</sup> /s)	50
BDV (kV)	65



XIAMETER® PMX-561 Transformer Liquid  
Ref. No. 95-459-01

**Gambar 3.12** Minyak jenis sintetis dan informasi spesifikasi

## 3.4 Pengondisian Bahan Uji dan Set Temperatur

Pada tahap ini, bahan uji dibagi menjadi beberapa sampel pengujian yang disesuaikan dengan ketersediaan isolasi minyak. Tiap jenis minyak akan dibagi menjadi 7 fase pengujian yang merepresentasikan sebagai perubahan temperatur. Fase pengujian dilakukan pada saat temperatur ruangan (*ambient*), 50° C, 60° C, 70° C, 80° C, 100° C, dan 120° C. Tiap-tiap fase pengujian akan dilakukan pengambilan data uji sebanyak 5 kali atau lebih untuk setiap jenis minyak. Nilai tegangan tembus per fase pengujian didapat dari nilai rata-rata kumpulan data uji yang diambil. Setiap data uji yang diambil dilakukan juga pengukuran temperatur saat pengujian dilakukan. Dengan kata lain, bahan uji akan dibagi menjadi 7 sample uji per jenis minyak sesuai dengan 7 fase pengujian yang dilakukan dengan setiap sampel uji dilakukan pengambilan data uji sebanyak 5 kali atau lebih.

Sebelum dilakukan pengujian tegangan tembus yang diawali dengan pemanasan sampel uji, maka sampel uji yang berada pada bejana uji dipastikan tidak ada gelembung udara yang bercampur. Hal ini dapat diakibatkan karena proses penuangan minyak dari kontainer ke bejana uji dengan tidak hati-hati sehingga menyebabkan munculnya gelembung udara pada minyak. Selain itu, gelembung udara dapat terjadi jika pada sampel uji mengalami guncangan yang keras sehingga untuk memindahkan bejana uji yang berisi minyak dilakukan dengan sangat hati-hati.

Agar tidak muncul gelembung udara pada sampel uji, maka proses penuangan dilakukan dengan pelan dan hati-hati. Selain itu, bejana uji harus dipastikan bebas dari partikel-partikel asing sebelum dilakukan penuangan bahan uji. Jika sampel uji tidak langsung dilakukan proses pengujian tegangan tembus atau mengalami penundaan dikarenakan suatu hal, maka sampel uji yang telah berada di dalam bejana uji sebisa mungkin diisolasi dari lingkungan sekitar, salah satunya dengan memberikan plastik *wrap* pada bejana uji agar terhindar dari partikel-partikel asing yang masuk. Pada Tabel 3.1, digambarkan skema pengondisian dan set temperatur bahan uji.

**Tabel 3.1** Skema pengondisian dan set temperatur bahan uji

Jenis Minyak	Mineral, Nabati, dan Sintetis						
Fase ke-	1	2	3	4	5	6	7
Set Temperatur (°C)	Amb	50	60	70	80	100	120
Keterangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiap fase terdiri dari pengujian 3 sampel uji, minyak mineral, nabati dan sintetis, yang telah disiapkan untuk diuji.</li> <li>• Setiap pengujian sampel dilakukan pengambilan data paling sedikit 5 kali sehingga setiap fase pengujian memiliki &gt; 15 data pengujian.</li> <li>• Setiap fase pengujian, minyak yang diuji dalam kondisi baru dan telah mengalami pengondisian bahan uji terlebih dahulu.</li> </ul>						

### 3.5 Proses Pengujian Tegangan Tembus

Sampel uji yang telah melewati tahap pengondisian bahan uji, maka akan berlanjut ke proses pemanasan yang disesuaikan dengan set

temperatur, kecuali pada fase pengujian ke-1 karena set temperatur pada kondisi temperatur ruangan. Lama dari proses pemanasan ini dibuat seragam untuk setiap fase pengujian yaitu selama 30 menit. Setelah itu, diperiksa kembali apakah temperatur pada sampel uji telah sesuai dengan set temperatur sebelum berlanjut ke tahap pengujian tegangan tembus. Pengukuran temperatur sampel uji dilakukan pada saat setelah sampel uji mengalami pemanasan dan sesaat sebelum dilakukan pengujian tegangan tembus. Temperatur yang diukur pada saat sampel uji mengalami pemanasan pada oven listrik memiliki nilai yang sedikit lebih tinggi sehingga pada saat pengujian tegangan tembus, sampel uji memiliki temperatur yang hampir sama dengan set temperatur. Sampel uji kemudian diberikan waktu tunggu kurang lebih selama 2 menit untuk proses *self healing* minyak uji dan selama waktu tunggu ini dilakukan pemanasan lagi jika temperatur sampel uji memiliki selisih yang jauh terhadap nilai set temperatur. Untuk mendapatkan nilai pengukuran temperatur yang tepat sesuai dengan set temperatur mengalami kendala karena ketepatan alat uji sehingga pada pengukuran temperatur diberikan nilai toleransi  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  pada setiap pemanasan.

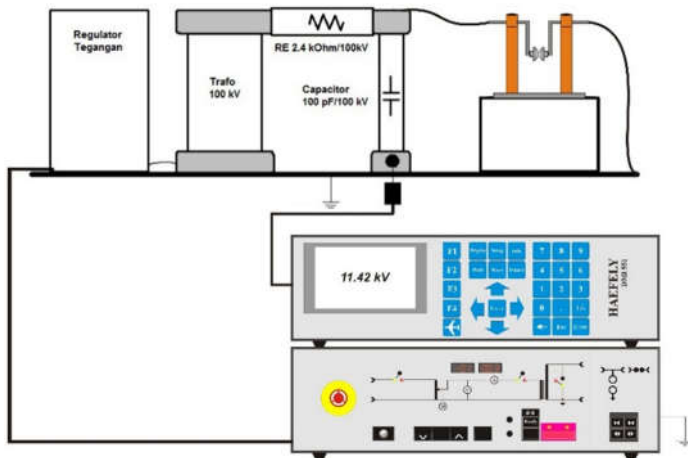


**Gambar 3.13** Proses pengukuran temperatur sampel uji

Setelah dilakukan proses pemanasan, maka sampel uji berlanjut pada tahap pengujian tegangan tembus. Setiap selesai melakukan sekali pengujian tegangan tembus, maka elektroda diamati kembali apakah ada sisa-sisa kontaminan yang masih menempel pada ujung elektroda. Hal

ini penting dilakukan karena kontaminan yang timbul pada ujung elektroda akan mempengaruhi nilai tegangan tembus dari sampel uji. Oleh karena itu, setiap sekali pengujian tegangan tembus, maka elektroda dibersihkan dari kontaminan sekaligus mengamati penurunan temperatur pada sampel uji. Jika penurunan temperatur pada sampel uji sudah terpaut jauh terhadap set temperatur, maka sampel uji perlu mengalami proses pemanasan kembali dengan tujuan untuk menjaga temperatur sample uji sesuai dengan set temperatur.

Proses pengujian tegangan tembus ini terus berlanjut hingga set temperatur mencapai maksimal di  $120^{\circ}\text{C}$ . Di suatu kondisi tertentu, saat set temperatur =  $100^{\circ}\text{C}$ , maka tegangan yang terjadi tidak pada elektroda yang terendam di dalam minyak, melainkan terjadi pada sela antar penyangga elektroda. Oleh karena itu, modul pengujian perlu diganti dengan modul pengujian alternatif dengan posisi penyangga elektroda horizontal terhadap bejana uji.



**Gambar 3.14** Perangkat pengujian tegangan tembus

### 3.6 Pengumpulan dan Plot Data Pengujian

Data hasil pengujian semuanya dihimpun, kemudian dijadikan satu dalam bentuk tabel agar lebih mudah diamati. Selanjutnya data-data tersebut disajikan dalam bentuk grafik agar analisis dan perbandingan dilakukan dengan lebih akurat. Untuk menyajikan data-data hasil pengujian dalam bentuk grafik, maka diperlukan perangkat lunak untuk

plot data-data hasil pengujian, yaitu Matlab. Data dan grafik yang telah dihimpun selanjutnya akan dilakukan analisis sehingga dapat menghasilkan beberapa kesimpulan atau evaluasi dari data yang didapat.

### **3.7 Analisis dan Evaluasi Data**

Analisis terhadap data hasil pengujian bertujuan agar dari semua rentetan tahapan dan metode pengujian ini didapatkan suatu kesimpulan mengenai pengaruh kenaikan temperatur terhadap nilai tegangan tembus pada masing-masing jenis minyak yang diuji. Penjelasan lebih lengkap akan dibahas pada BAB IV laporan penelitian ini. Selain itu, jika terjadi ketidaksesuaian dengan hipotesa maupun referensi yang relevan, maka data hasil pengujian dilakukan evaluasi agar dapat lebih menyempurnakan laporan penelitian ini.

Untuk melengkapi analisis dari penelitian ini, maka dilakukan pengujian kadar air untuk sampel uji yang telah dilakukan pengujian tegangan tembus. Pengujian kadar air ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Maksud dari dilakukannya pengujian kadar air ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari pemanasan yang dilakukan pada sampel uji sehingga memiliki variasi nilai tegangan tembus untuk setiap sampel uji.



## **BAB IV**

### **HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA**

Data hasil pengujian tegangan tembus yang diperoleh kemudian dihimpun dan dilakukan proses ke tahapan selanjutnya yaitu analisis data. Pada BAB IV membahas mengenai analisis data hasil pengujian yang diperoleh pada ketiga jenis minyak dan pembahasan mengenai pengaruh kenaikan temperatur terhadap hasil nilai tegangan tembus untuk masing-masing jenis minyak transformator.

Hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3 merupakan data uji yang diperoleh dari pengujian tegangan tembus tanpa dilengkapi dengan data hasil pengukuran temperatur di setiap data uji. Agar dapat menjaga temperatur pada sampel uji berada pada rentang yang diinginkan, maa dilakukan pengukuran temperatur saat sebelum dan setelah proses pengujian tegangan tembus. Hasil pengukuran temperatur pada masing-masing data uji disajikan dalam tabel pada lampiran A, lamnpiran B, dan lampiran C. Setiap nilai pengukuran temperatur pada masing-masing data uji diatur mendekati nilai set temperatur dengan toleransi diusahakan mencapai  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.1 Analisis Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Jenis Mineral Terhadap Perubahan Temperatur**

Pada pengujian pengaruh perubahan temperatur pada nilai tegangan tembus dilakukan 7 fase pengujian berdasarkan tingkat perubahan temperatur yang diuraikan sebagai berikut.

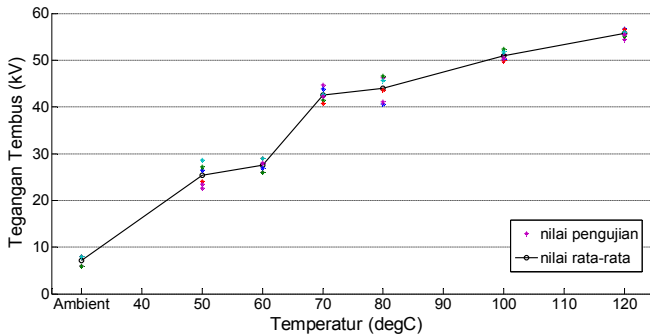
1. Pengujian teganggan tembus pada temperatur ruangan (*ambient*).
2. Pengujian teganggan tembus pada temperatur  $50^{\circ}\text{C}$ .
3. Pengujian teganggan tembus pada temperatur  $60^{\circ}\text{C}$ .
4. Pengujian teganggan tembus pada temperatur  $70^{\circ}\text{C}$ .
5. Pengujian teganggan tembus pada temperatur  $80^{\circ}\text{C}$ .
6. Pengujian teganggan tembus pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$ .
7. Pengujian teganggan tembus pada temperatur  $120^{\circ}\text{C}$ .

Pemilihan set temperatur disesuaikan dengan spesifikasi minyak transformator, yaitu titik nyala pada minyak mineral bernilai  $140^{\circ}\text{C}$ . Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

**Tabel 4.1** Data pengujian tegangan tembus minyak mineral

Temp.	Fase Pengujian						
	Amb.	50° C	60° C	70° C	80° C	100°C	120°C
Nilai Tegangan Tembus (kV)	6	22.6	26	44.67	46.3	51.18	54.42
	8	26.46	27	43.84	40.6	50.06	56.76
	6	27.24	26	41.43	46.6	52.43	55.17
	8	24.09	29	40.7	43.6	49.83	56.63
	8	28.56	29	42.62	45.7	51.81	55.92
		23.42	28	42.29	41.16	50.42	55.46
Rata-rata	7.2	25.41	27.5	42.59	43.99	50.95	55.73

Agar lebih mudah diamati, maka dari Tabel 4.1 dibuat grafik yang menjelaskan data hasil pengujian, disajikan pada Gambar 4.1



**Gambar 4.1** Grafik pengujian tegangan tembus minyak mineral

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing fase pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian serta nilai terendah dan tertinggi data hasil pengujian.

Data pengujian pada temperatur ruangan (*Ambient*)

Nilai terendah : 6 kV

Nilai tertinggi : 8 kV

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\
 &= \frac{6 + 8 + 6 + 8 + 8}{5} \\
 &= 7.2 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 50° C

Nilai terendah : 22.6 kV

Nilai tertinggi : 28.65 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{22.6 + 26.46 + 27.24 + 24.09 + 28.65 + 23.42}{6} \\ &= 25.41 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 60° C

Nilai terendah : 26 kV

Nilai tertinggi : 29 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{26 + 27 + 26 + 29 + 29 + 28}{6} \\ &= 27.5 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 70° C

Nilai terendah : 40.7 kV

Nilai tertinggi : 44.67 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{44.67 + 43.84 + 42.43 + 40.7 + 42.62 + 42.29}{6} \\ &= 42.59 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 80° C

Nilai terendah : 40.6 kV

Nilai tertinggi : 46.6 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{46.3 + 40.6 + 46.6 + 43.6 + 45.7 + 41.16}{6} \\ &= 43.99 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 100° C

Nilai terendah : 49.83 kV

Nilai tertinggi : 52.43 kV

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\
 &= \frac{51.18 + 50.06 + 52.43 + 49.83 + 51.81 + 50.42}{6} \\
 &= 50.95 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 120° C

Nilai terendah : 54.42 kV

Nilai tertinggi : 56.76 kV

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\
 &= \frac{54.42 + 56.76 + 55.17 + 56.63 + 55.92 + 55.46}{6} \\
 &= 55.73 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

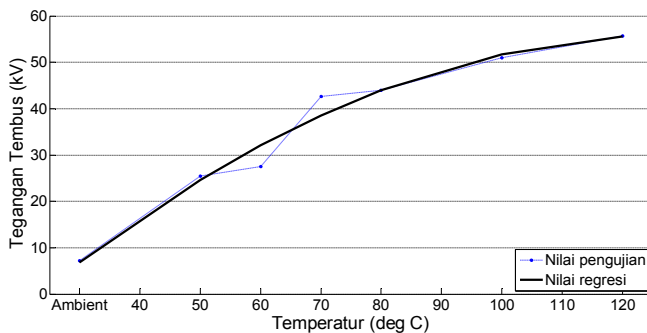
Dari data hasil pengujian, dapat diamati bahwa nilai rata-rata tegangan tembus pada set temperatur ruangan pada sampel uji adalah 7.2 kV. Nilai rata-rata tegangan tembus pada set temperatur 50° C pada sampel uji mengalami kenaikan 25.41° C. Begitu pula pada set temperatur 60° C, 70° C, 80° C, 100° C, 120° C, nilai tegangan tembus rata-rata naik pada 27.5 kV, 42.59 kV, 43.99 kV, 50.95, dan 55.73 kV.

Semakin naik temperatur yang diberikan pada sampel uji minyak mineral dari temperatur ruangan sampai 120° C, maka tegangan tembus yang terjadi pun semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur yang diberikan pada sampel uji minyak mineral, maka kadar air (*water content*) dalam minyak mineral akan semakin berkurang karena adanya proses penguapan saat minyak dipanaskan.

Jumlah kadar air yang terkandung dalam minyak mineral ini menentukan proses terjadinya jembatan serat pada minyak mineral. Jadi, semakin tinggi kandungan air pada minyak mineral, maka proses pembentukan jembatan serat akan semakin mudah dan tegangan tembus yang terjadi akan semakin cepat atau bernilai rendah. Sebaliknya, semakin rendah kandungan air pada minyak yang disebabkan adanya proses pemanasan, maka proses terbentuknya jembatan serat akan semakin sulit dan tegangan tembus yang terjadi akan semakin lama atau bernilai tinggi.

*Trend* kenaikan tegangan tembus yang dialami minyak mineral terhadap kenaikan temperatur dapat dibuat suatu fungsi dari pola

perubahan datanya. Dengan menggunakan perangkat lunak Matlab, maka dari pola data hasil pengujian tegangan tembus dapat ditentukan dengan menggunakan perintah “*polyfit*” yang berorde 2. Dengan fungsi yang telah ditentukan, maka dapat digunakan untuk memprediksi tegangan tembus pada nilai temperatur yang tidak ada pada pengujian dengan batasan tidak melebihi nilai titik nyala (*flash point*) minyak mineral. Dari penggunaan Matlab, maka didapatkan suatu persamaan berorde 2, yaitu ‘ $y = -0.005x^2 + 1.2904x - 27.374$ ’. Dari persamaan ini dapat diplot grafik fungsi berorde 2, disajikan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Grafik regresi polynomial orde 2 karakteristik tegangan tembus minyak mineral

## 4.2 Analisis Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Jenis Sintetis Terhadap Perubahan Temperatur

Minyak sintetis yang digunakan untuk pengujian tegangan tembus berbahan dasar silikon atau sering disebut dengan minyak “*PDS*” yang merupakan singkatan dari *Polydimethylsiloxane*. Berdasarkan datasheet, minyak sintetis ini memiliki nilai titik nyala (*flash point*) yang paling rendah di antara ketiga jenis minyak, yakni pada temperatur 101° C, berbeda dengan jenis minyak mineral yang memiliki nilai titik nyala pada temperatur 140° C. Sama seperti pengujian minyak mineral pada penjelasan sebelumnya, pengujian tegangan tembus minyak sintetis ini dibagi menjadi 7 fase pengujian berdasarkan tingkat perubahan temperatur yang dijabarkan sebagai berikut.

1. Pengujian tegangan tembus pada temperatur ruangan (*ambient*).
2. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 50° C.
3. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 60° C.
4. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 70° C.
5. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 80° C.
6. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 100° C.
7. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 120° C.

Fase pengujian tegangan tembus minyak sintetis dibuat seragam dengan pengujian jenis minyak lainnya yaitu 7 fase pengujian. Akan tetapi, pertimbangan pengujian minyak sintetis adalah titik nyala minyak sintetis pada temperatur 101° C yang artinya jika minyak sintetis ini dilakukan pemanasan dengan temperatur diatas titik nyalanya, 101° C atau sesuai dengan fase pengujian ke-7, pemanasan dilakukan pada temperatur 120°C, maka akan berpengaruh pada rusaknya ketahanan elektris minyak sintetis itu sendiri yang berakibat nilai tegangan tembus yang terjadi akan lebih rendah daripada fase pengujian lainnya. Oleh karena itu, pengujian tegangan tembus minyak sintetis yang dilakukan pada fase ke-7 atau pada pemanasan di 120° C bertujuan untuk mengetahui kondisi minyak sintetis masih dalam keadaan bagus atau sudah mengalami kerusakan ketahanan elektris yuang ditandai dengan menurunnya nilai tegangan tembus. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 120°C hanya dilakukan sebanyak 3 kali karena pada kondisi ini muncul fenomena arcing pada elektroda yang memungkinkan untuk merusak peralatan uji. Hasil pengujian tegangan tembus minyak sintetis diuraikan pada Tabel 4.2 sebagai berikut,

**Tabel 4.2** Data pengujian tegangan tembus minyak sintetis

Temp.	Fase Pengujian						
	<i>Amb.</i>	50° C	60° C	70° C	80° C	100°C	120°C
Nilai Tegangan Tembus (kV)	12	23.54	19.5	26.89	27.2	42.5	32.79
	14	20.46	20	25.48	26,26	43.23	9.82
	16	24.57	19.3	23.48	23.6	38.8	7.23
	10	19.87	20	23.4	24.5	37.18	
	10	25.68	20.23	21.6	25.1	35.64	
		23.75	20.05	23.19	23.7	36.5	
Rata-rata	12.4	22.98	19.85	24.01	25.06	38.975	16.6

Dari data pengujian tegangan tembus pada Tabel 4.2, maka ditentukan nilai terendah nilai tertinggi, dan nilai rata agar lebih mudah dalam melakukan analisis. Berikut uraian dari nilai-nilai tersebut.

Data pengujian pada temperatur ruangan (*Ambient*)

Nilai terendah : 10 kV

Nilai tertinggi : 16 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{12 + 14 + 16 + 10 + 10}{5} \\ &= 12.4 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 50° C

Nilai terendah : 19.87 kV

Nilai tertinggi : 25.68 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{23.54 + 20.46 + 24.57 + 19.87 + 25.68 + 23.75}{6} \\ &= 22.98 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 60° C

Nilai terendah : 19.3 kV

Nilai tertinggi : 20.23 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{19.5 + 20 + 19.3 + 20 + 20.23 + 20.05}{6} \\ &= 19.85 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 70° C

Nilai terendah : 21.6 kV

Nilai tertinggi : 26.89 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{26.89 + 25.48 + 23.48 + 23.4 + 21.6 + 23.19}{6} \\ &= 24.01 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 80° C

Nilai terendah : 23.6 kV

Nilai tertinggi : 27.2 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{27.2 + 26.26 + 23.6 + 24.5 + 25.1 + 23.7}{6} \\ &= 25.06 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 100° C

Nilai terendah : 35.64 kV

Nilai tertinggi : 43.23 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{42.5 + 43.23 + 38.8 + 37.18 + 35.64 + 36.5}{6} \\ &= 38.98 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 120° C

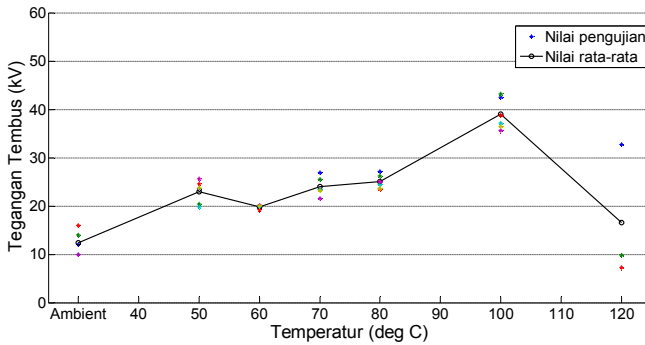
Nilai terendah : 7.23 kV

Nilai tertinggi : 32.79 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{32.79 + 9.82 + 7.23}{3} \\ &= 16,61 \text{ kV}\end{aligned}$$

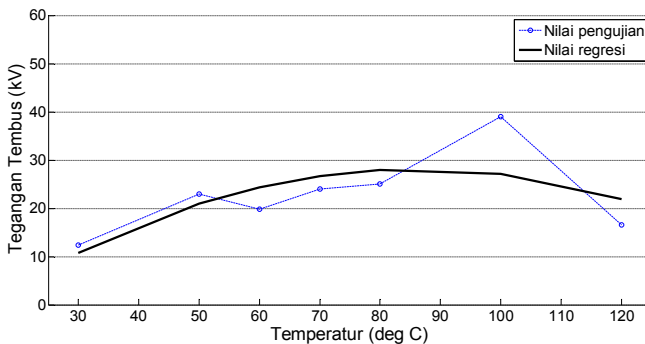
Agar lebih mudah diamati dan dianalisis, maka data pada Tabel 4.2 dibuat grafik yang menjelaskan plot persebaran nilai hasil pengujian dan nilai rata-ratanya. Persebaran nilai hasil pengujian dibuat sesuai kuantitas data yang diperoleh pada saat pengujian untuk setiap fase pengujian. Hasil yang diperoleh bervariasi dengan toleransi rata-rata bernilai 5 kV. Sedangkan pada fase pemanasan 120° C, dapat diamati dan dianalisa bahwa rentang nilai tegangan tembus tertinggi dan terendah sangat jauh yang menjelaskan bahwa pada pemanasan yang melebihi batas titik nyala minyak akan merusak isolasi minyak tersebut yang ditandai dengan meurunnya nilai tegangan tembus. Gambar 4.3 merupakan grafik dari hasil pengujian tegangan tembus minyak sintesis.





**Gambar 4.3** Grafik pengujian tegangan tembus minyak sintetis

Selain itu, berdasarkan data hasil pengujian, maka ditentukan suatu fungsi dari pola persebaran datanya. Data yang disajikan berupa grafik regresi polynomial orde ke-2 dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Pada grafik ini data yang digunakan adalah data pengujian sampai pengujian dengan pemanasan  $100^{\circ}\text{C}$  karena pada fase pengujian ke-7 pemanasan yang dilakukan melebihi dari batas titik nyala minyak sintetis sehingga data pengujian pada pemanasan  $120^{\circ}\text{C}$  merupakan data yang didapat ketika ketahanan elektris minyak sintetis telah rusak. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.3, bahwa pada pemanasan  $120^{\circ}\text{C}$ , rata-rata nilai tegangan tembus turun menjadi 16.61 kV. Berikut merupakan grafik regresi polynomial orde ke-2 dari data hasil pengujian tegangan tembus minyak sintetis.



**Gambar 4.4** Grafik regresi polynomial orde 2 karakteristik tegangan tembus minyak sintetis.

Grafik regresi karakteristik tegangan tembus minyak sintetis pada Gambar 4.4 memiliki komponen pangkat 2 = 0.0027, pangkat 1 = - 0.0130, dan konstanta = 12.1724 sehingga persamaan yang didapat adalah ' $y = 0.0027x^2 - 0.0130x + 12.1724$ '. Dari fungsi ini dapat digunakan untuk memprediksi nilai tegangan tembus pada set temperatur yang tidak diujikan dengan batasan nilai set temperatur tidak lebih dari titik nyala minyak sintetis yaitu 101° C.

Dari data pengujian yang dicantumkan pada Tabel 4.2 serta grafik hubungan tegangan tembus terhadap perubahan temperatur yang disajikan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, dapat diamati bahwa setiap kenaikan temperatur yang diberikan pada sampel uji minyak sintetis, maka tegangan tembus yang dihasilkan pun akan semakin meningkat. Akan tetapi, pada temperatur 60° C nilai rata-rata tegangan tembus yang diperoleh adalah 19.85 kV, lebih kecil daripada nilai rata-rata tegangan tembus yang diperoleh pada set temperatur 50° C, 22.98 kV. Hal ini disebabkan karena perbedaan kondisi sekitar saat pengujian pada temperatur 50° C dan 60° C dilakukan, yaitu kondisi kelembaban yang tidak sama sehingga berdampak pada hasil pengujian.

Pada umumnya, trend yang dimiliki oleh karakteristik tegangan tembus minyak sintetis adalah semakin meningkat temperatur yang diberikan pada sampel uji, yakni pada temperatur ruangan, 50° C, 60° C, 70° C, 80° C, dan 100° C, maka nilai rata-rata tegangan tembus yang diperoleh pun semakin mengalami peningkatan untuk setiap set temperaturnya, yaitu 12.4 kV, 22.98 kV, 19.85 kV, 24.01 kV, 25.06 kV, dan 38.975 kV. Hal ini disebabkan oleh kadar air yang berbeda-beda untuk setiap sampel uji karena perbedaan temperatur yang diberikan ke sampel uji. Semakin rendah temperatur pada sampel uji, maka sampel memiliki kadar air yang lebih banyak sehingga proses untuk terbentuknya jembatan serat saat diinjeksikan tegangan tinggi akan semakin mudah. Fenomena inilah yang menyebabkan tegangan tembus terjadi dalam waktu yang singkat atau pada nilai tegangan yang rendah. Sebaliknya semakin tinggi temperatur yang diberikan ke sampel uji, maka sampel uji memiliki kadar air yang lebih sedikit diakibatkan adanya proses penguapan. Dengan semakin rendahnya kadar air pada minyak sintetis, maka proses untuk terjadinya jembatan serat akan lebih sulit sehingga tegangan tembus yang terjadi pun akan semakin lama atau memiliki nilai tegangan yang lebih besar.

Pada faase pengujian dengan temperatur pemanasan 120° C, nilai rata-rata tegangan tembus yang terjadi pada sampel uji minyak sintetis adalah semakin menurun hingga pada nilai 16.61 kV. Hal ini disebabkan pemanasan yang dilakukan melebihi dari batas titik nyala minyak sintetis, yaitu 101° C sehingga ketahanan elektris dari minyak sintetis mengalami kerusakan. Dampak yang terlihat adalah semakin menurunnya nilai rata-rata tegangan tembus minyak sintetis pada temperatur 120° C, 16,61 kV jika dibandingkan dengan pengujian sebelumnya dengan nilai rata-rata tegangan tembus minyak sintetis pada temperatur 100°C, yaitu 38.975 kV.

Pada pengamatan secara fisik minyak sintetis ini, setelah terjadinya tegangan tembus, maka diantara sela elektroda uji, muncul kontaminan. Kontaminan ini merupakan sisa hasil dari proses *arcing* yang terjadi pada tegangan tinggi. Berbeda dengan karakteristik fisik dari minyak mineral maupun nabati karena kontaminan yang muncul diakibatkan proses *arcing* di dalam isolasi minyak cenderung untuk larut dan dapat merubah warna atau tampilan sesecara fisik dari minyak mineral atau nabati yang semakin keruh.

#### **4.3 Analisis Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator Jenis Nabati Terhadap Perubahan Temperatur**

Minyak nabati yang digunakan untuk pengujian tegangan tembus ini berbahan dasar dari ekstrak tanaman *canola*. Pada pengujian pengaruh perubahan temperatur terhadap nilai tegangan tembus, dilakukan 7 fase pengujian berdasarkan tingkat perubahan temperatur yang diuraikan sebagai berikut.

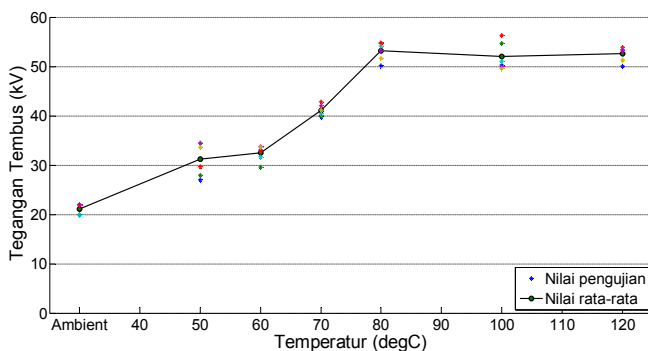
8. Pengujian tegangan tembus pada temperatur ruangan (*ambient*).
9. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 50° C.
10. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 60° C.
11. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 70° C.
12. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 80° C.
13. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 100° C.
14. Pengujian tegangan tembus pada temperatur 120° C.

Pemilihan set temperatur disesuaikan dengan spesifikasi minyak transformator, yaitu titik nyala (*flash point*) pada minyak nabati, 268° C. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

**Tabel 4.3** Data pengujian tegangan tembus minyak nabati

Temp.	Fase Pengujian						
	Amb.	50° C	60° C	70° C	80° C	100°C	120°C
Nilai Tegangan Tembus (kV)	20	27.05	33.1	39.84	50.02	50.29	50.09
	22	27.95	29.56	40.01	54.7	54.71	53.48
	21.8	29.66	32.9	42.83	54.88	56.3	53.87
	20	34.49	31.7	40.46	54.17	51.05	53.46
	22	34.48	33.8	42.08	53.3	49.98	53.34
		33.67	33.7	41.27	51.7	49.63	51.32
Rata-rata	21.16	31.22	32.46	41.08	53.16	51.99	52.59

Agar lebih mudah diamati, maka dari Tabel 4.3 dibuat bentuk grafik yang menggambarkan persebaran data pengujian dan plot nilai rata-ratanya, disajikan pada Gambar 4.5 sebagai berikut



**Gambar 4.5** Grafik pengujian tegangan tembus minyak nabati

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing fase pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian. Selain itu, ditentukan juga nilai terendah dan nilai tertinggi agar dapat mengetahui rentang data dari hasil pengujian.

Data pengujian pada temperatur ruangan (*Ambient*)

Nilai terendah : 20 kV

Nilai tertinggi : 22 kV

Nilai rata-rata = 
$$\frac{\sum \text{data uji}}{\text{banyak data uji}}$$

$$= \frac{20 + 22 + 21.8 + 20 + 22}{5}$$

$$= 21.16 \text{ kV}$$

Data pengujian pada temperatur 50° C

Nilai terendah : 27.05 kV

Nilai tertinggi : 34.49 kV

$$\text{Nilai rata-rata} = \frac{\Sigma \text{data uji}}{\text{banyak data uji}}$$

$$= \frac{27.05 + 27.95 + 29.66 + 34.49 + 34.48 + 33.67}{6}$$

$$= 31.22 \text{ kV}$$

Data pengujian pada temperatur 60° C

Nilai terendah : 29.56 kV

Nilai tertinggi : 33.8 kV

$$\text{Nilai rata-rata} = \frac{\Sigma \text{data uji}}{\text{banyak data uji}}$$

$$= \frac{33.1 + 29.56 + 32.9 + 31.7 + 33.8 + 33.7}{6}$$

$$= 32.46 \text{ kV}$$

Data pengujian pada temperatur 70° C

Nilai terendah : 39.84 kV

Nilai tertinggi : 42.83 kV

$$\text{Nilai rata-rata} = \frac{\Sigma \text{data uji}}{\text{banyak data uji}}$$

$$= \frac{39.84 + 40.01 + 42.83 + 40.46 + 42.08 + 41.27}{6}$$

$$= 41.08 \text{ kV}$$

Data pengujian pada temperatur 80° C

Nilai terendah : 50.2 kV

Nilai tertinggi : 54.88 kV

$$\text{Nilai rata-rata} = \frac{\Sigma \text{data uji}}{\text{banyak data uji}}$$

$$= \frac{50.02 + 54.7 + 54.88 + 54.17 + 53.3 + 51.7}{6}$$

$$= 53.16 \text{ kV}$$

Data pengujian pada temperatur 100° C

Nilai terendah : 49.63 kV

Nilai tertinggi : 56.3 kV

$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{ data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{50.29 + 54.71 + 56.3 + 51.05 + 49.98 + 49.63}{6} \\ &= 51.99 \text{ kV}\end{aligned}$$

Data pengujian pada temperatur 120° C

Nilai terendah : 50.09 kV

Nilai tertinggi : 53.87 kV

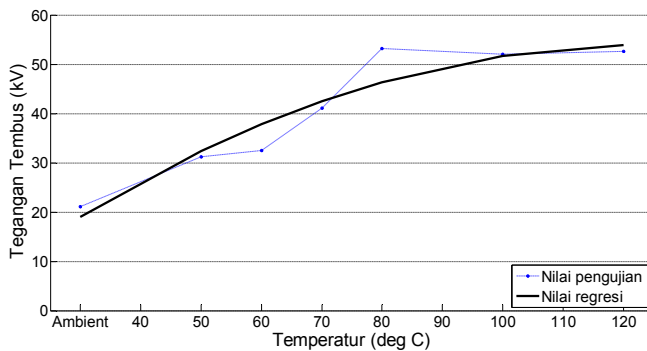
$$\begin{aligned}\text{Nilai rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{ data uji}}{\text{banyak data uji}} \\ &= \frac{50.09 + 53.48 + 53.87 + 53.46 + 53.34 + 51.32}{6} \\ &= 52.59 \text{ kV}\end{aligned}$$

Dari data hasil pengujian, dapat diamati bahwa nilai rata-rata tegangan tembus pada set temperatur ruangan pada sampel uji minyak nabati adalah 21.16 kV. Nilai rata-rata tegangan tembus pada set temperatur 50° C pada sampel uji mengalami kenaikan 31.22° C. Begitu pula pada set temperatur 60° C, 70° C, 80° C, 100° C, 120° C, nilai tegangan tembus rata-rata naik pada 32.46 kV, 41,08 kV, 53.16 kV, 51.99 kV, dan 52.59 kV.

Semakin naik temperatur yang diberikan pada sampel uji minyak nabati dari temperatur ruangan sampai 120° C, maka tegangan tembus yang terjadi pun semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur yang diberikan pada sampel uji minyak nabati, maka kadar air (*water content*) dalam minyak nabati akan semakin berkurang karena adanya proses penguapan saat minyak dipanaskan.

Jumlah kadar air yang terkandung dalam minyak mineral ini mempengaruhi proses terjadinya jembatan serat pada minyak nabati. Semakin tinggi kandungan air pada minyak nabati, maka proses pembentukan jembatan serat akan semakin mudah dan tegangan tembus yang terjadi akan semakin cepat atau bernilai rendah. Sebaliknya, semakin rendah kandungan air pada minyak nabati yang disebabkan adanya proses pemanasan, maka proses terbentuknya jembatan serat akan semakin sulit dan tegangan tembus yang terjadi akan semakin lama atau bernilai tinggi.

*Trend* kenaikan tegangan tembus yang dialami minyak nabati terhadap kenaikan temperatur dapat dibuat suatu fungsi dari pola perubahan datanya. Dengan menggunakan perangkat lunak Matlab, maka dari pola data hasil pengujian tegangan tembus dapat ditentukan dengan menggunakan perintah “*polyfit*” yang berorde 2, sehingga didapatkan suatu bentuk grafik regresi polynomial berorde 2 dengan fungsi persamaan grafiknya yaitu ‘ $y = -0.004x^2 + 0.9828x - 6.8814$ ’. Dengan fungsi yang telah ditentukan, maka dapat digunakan untuk memprediksi tegangan tembus pada nilai temperatur yang tidak ada pada pengujian dengan batasan tidak melebihi nilai titik nyala (*flash point*) minyak nabati. Dari persamaan ini dapat diplot grafik fungsi berorde 2 seperti pada Gambar 4.6 berikut.



**Gambar 4.6** Grafik regresi polynomial orde 2 karakteristik tegangan tembus minyak nabati

Dari ketiga jenis minyak transformator, semuanya hampir memiliki karakteristik listrik yang sama antara nilai tegangan tembus terhadap perubahan temperatur, yaitu semakin tinggi nilai temperatur yang diberikan ke minyak transformator, maka nilai tegangan tembus yang dihasilkan pun semakin meningkat. Seperti pada bahasan sebelumnya, bahwa perubahan nilai tegangan tembus ini dipengaruhi oleh kadar air yang terkandung di dalam ketiga minyak transformator tersebut. Semakin tinggi temperatur pada saat pemanasan minyak transformator, maka kadar air yang terkandung di dalam minyak akan semakin berkurang dan akan mempengaruhi proses tegangan tembus akan semakin lama atau tegangan tembus bernilai tinggi. Sebaliknya, semakin rendah temperatur yang diberikan ke minyak transformator,

maka jumlah kadar air yang terkandung di dalam minyak lebih banyak sehingga akan mempengaruhi proses tegangan tembus menjadi semakin cepat atau tegangan tembus bernilai rendah.

Jika nilai tegangan tembus ketiga jenis minyak dibandingkan, maka akan diperoleh level nilai rata-rata tegangan tembus antara minyak mineral, sintetis dan nabati. Parameter yang terdapat pada *datasheet* masing-masing minyak dapat digunakan untuk membandingkan ketiga jenis minyak ini terhadap nilai rata-rata tegangan tembus yang dihasilkan. Analisis mengenai perbandingan nilai rata-rata tegangan tembus pada masing-masing jenis minyak akan diuraikan pada sub bab 4.4 berikut.

#### **4.4 Analisis Karakteristik Nilai Tegangan Tembus Minyak Transformator Jenis Mineral, Sintetis, Dan Nabati**

Pada sub bab ini, dilakukan analisis mengenai karakteristik nilai tegangan tembus dari masing-masing jenis minyak transformator, yaitu minyak mineral, minyak sintetis dan minyak nabati. Data spesifikasi masing-masing jenis minyak diperlukan untuk membandingkan tingkat ketahanan elektris ketiga jenis minyak. Data spesifikasi ini diperoleh dari *datasheet* minyak mineral dengan *brand* “Nynas Distro DT-11”, minyak sintetis (*Polydimethylsiloxane liquid*) dengan *brand* “Xiameter PMX-561”, dan minyak nabati dengan *brand* “Mictrans-VF”. Dari data spesifikasi ketiga jenis minyak tersebut selanjutnya dibandingkan dan dianalisis dengan hasil rata-rata tegangan tembus untuk setiap jenis minyak sehingga dapat dibuat suatu simpulan mengenai karakteristik nilai tegangan tembus minyak transformator jenis mineral, sintetis, dan nabati.

Dari hasil pengujian, maka didapat karakteristik tegangan tembus minyak transformator jenis mineral, sintetis, dan nabati terhadap pengaruh perubahan temperatur. Perbedaan besar nilai tegangan tembus pada ketiga jenis minyak dikaitkan dengan nilai titik nyala masing-masing jenis minyak yang didapatkan dari nilai parameter pada *datasheet* masing-masing jenis minyak. Berikut merupakan penjabaran dari data hasil pengujian nilai rata-rata tegangan tembus untuk pada masing-masing jenis minyak transformator.



**Tabel 4.4** Data hasil pengujian tegangan tembus minyak transformator jenis mineral, sintetis, dan nabati.

Fase Pengujian	Nilai Tegangan Tembus (kV)		
	Minyak Mineral	Minyak Sintetis	Minyak Nabati
Ambient	7.2	12.4	21.16
50° C	25.41	22.98	31.22
60° C	27.5	19.85	32.46
70° C	42.59	24.01	41.08
80° C	43.99	25.06	53.16
100° C	50.96	38.975	51.99
120° C	55.73	16.61*	52.59

\*Data diperoleh dari pemanasan melebihi nilai titik nyala minyak.

Dari data-data pada Tabel 4.4 kemudian dilakukan analisis perbandingan nilai rata-rata tegangan tembus masing-masing jenis minyak transformator untuk setiap fase temperatur pemanasan. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui besar nilai rata-rata tegangan tembus untuk setiap jenis minyak transformator

Berdasarkan Tabel 4.4, nilai rata-rata tegangan tembus pada pengujian temperatur ruangan adalah untuk minyak nabati memiliki nilai tegangan tembus tertinggi = 21.16 kV, minyak mineral = 7.2 kV, dan minyak sintetis = 12.4 kV. Pada pemanasan 50° C, minyak nabati memiliki nilai rata-rata tegangan tembus paling besar yaitu 31.22 kV, kemudian minyak mineral = 25.41 kV dan minyak sintetis yang memiliki nilai rata-rata tegangan tembus terkecil yaitu 22.98 kV. Pada pemanasan 60° C, minyak nabati memiliki nilai rata-rata tegangan tembus paling besar yaitu 32.46 kV, kemudian minyak mineral = 27.5 kV dan minyak sintetis yang memiliki nilai rata-rata tegangan tembus terkecil yaitu 19.85 kV. Sedangkan pada pemanasan 70°C, nilai rata-rata tegangan tembus terbesar ada pada minyak mineral yaitu 42.59 kV yang memiliki selisih sedikit dengan nilai rata-rata tegangan tembus minyak nabati yaitu 41.08 kV. Pada pemanasan temperatur 80° C dan 100° C,

nilai rata-rata tegangan tembus terbesar ada pada minyak nabati, yaitu 53.16 kV dan 51.99 kV, minyak mineral memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yaitu 43.99 kV dan 50.96 kV, dan minyak sintetis memiliki nilai rata-rata tegangan tembus terkecil, yaitu 25.06 kV dan 38.975 kV. Pada pemanasan 120° C, minyak mineral memiliki nilai rata-rata paling besar yaitu 55.73 kV yang memiliki selisih sedikit dengan minyak nabati = 52.59 kV.

Dari data pada Tabel 4.4, dapat di amati bahwa nilai rata-rata tegangan tembus tertinggi pada minyak transformator jenis nabati, kemudian minyak jenis mineral memiliki rata-rata nilai tegangan tembus yang lebih kecil daripada minyak nabati. Sedangkan untuk nilai tegangan tembus terkecil dimiliki oleh minyak jenis sintetis. Nilai rata-rata tegangan tembus masing-masing jenis minyak ini sebagai representasi dari tingkatan ketahanan elektris dari masing-masing jenis minyak.

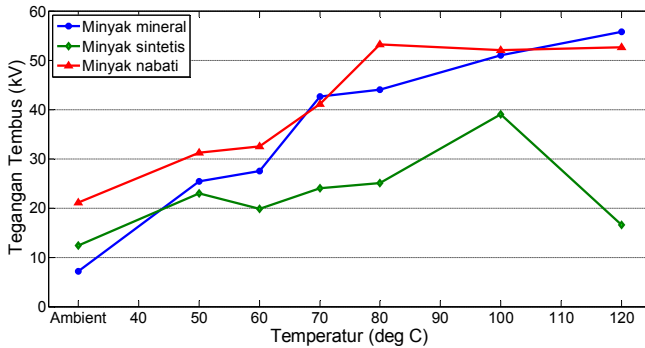
**Tabel 4.5** Nilai titik nyala pada parameter datasheet minyak

	Minyak Mineral	Minyak Sintetis	Minyak Nabati
Titik Nyala	<b>140° C</b>	<b>101° C</b>	<b>268° C</b>

Dari data pada Tabel 4.4 lalu dibandingkan dengan data pada *datasheet* masing-masing jenis minyak. Dari *datasheet* minyak transformator, parameter yang sesuai dengan pola perubahan nilai rata-rata tegangan tembus minyak transformator adalah parameter titik nyala (*flash point*) yang ditunjukkan pada Tabel 4.5. Dari kondisi ini dapat kita analisis bahwa kekuatan elektris suatu media isolasi minyak yang direpresentasikan dengan nilai rata-rata tegangan tembus dipengaruhi oleh nilai titik nyala untuk media isolasi tersebut. Semakin tinggi titik nyala, maka isolasi minyak memiliki kekuatan elektris yang tinggi pula.

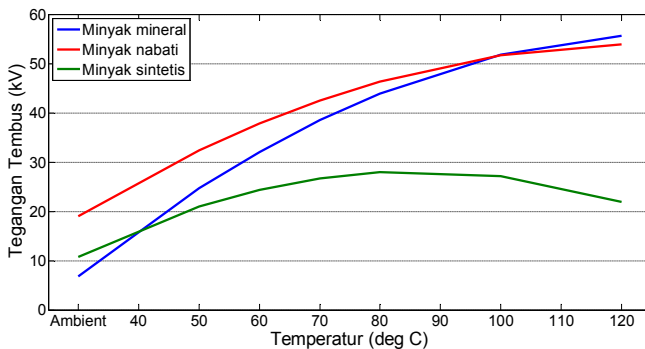
Kondisi ini dapat kita amati dari Tabel 4.5 bahwa nilai titik nyala untuk minyak nabati adalah yang tertinggi yaitu 268° C, kemudian minyak mineral yaitu 140° C dan minyak sintetis memiliki nilai titik nyala yang paling kecil yaitu 101° C. Dari pola perubahan nilai tegangan tembus terhadap kenaikan temperatur dapat diamati pada Gambar 4.7. Pada Gambar 4.7 dapat diamati bahwa grafik tegangan tembus pada minyak nabati hampir memiliki nilai tegangan tembus yang paling tinggi untuk setiap fase kenaikan temperaturnya. Pada fase pemanasan 70° C dan 120° C, nilai tegangan tembus minyak nabati (41.08 kV dan 52.59

kV) sedikit lebih rendah daripada nilai tegangan tembus minyak mineral (42.59 kV dan 55.73 kV). Pada minyak sintetis hampir memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang paling kecil, hanya saja pada pengujian temperatur ruangan, nilai rata-rata tegangan tembus minyak sintetis (12.4 kV) lebih besar bila dibandingkan dengan nilai rata-rata tegangan tembus pada minyak mineral (7.2 kV).



**Gambar 4.7** Grafik tegangan tembus minyak mineral, sintetis, dan nabati

Untuk mengetahui lebih dalam karakteristik tegangan tembus terhadap pengaruh temperatur, maka dibuat grafik kurva regresi polynomial orde 2 sehingga trend kenaikan nilai tegangan tembus dapat diamati dan dapat dinyatakan dalam suatu fungsi persamaan.



**Gambar 4.8** Grafik regresi tegangan tembus terhadap perubahan temperatur gabungan 3 jenis minyak

Dari kurva regresi yang disajikan pada Gambar 4.8, dapat diamati bahwa karakteristik tegangan tembus minyak nabati memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan dengan minyak mineral dan minyak sintetis memiliki karakteristik tegangan tembus yang paling kecil. *Trend* yang dimiliki karakteristik minyak nabati dan minyak mineral adalah semakin meningkat terhadap kenaikan temperatur, sedangkan pada minyak sintetis, trend kurva karakteristiknya mengalami penurunan dengan titik balik (*turning point*) pada temperatur 100° C.

Penelitian dilanjutkan pada pengujian kadar air yang terkandung pada sampel uji minyak transformator untuk mengetahui akibat dari pemanasan terhadap kondisi parameter sampel uji. Pada pengujian kadar air ini, sampel uji yang digunakan adalah sampel uji pada temperatur ruangan dan pada temperatur 80° C sehingga total jumlah sampel uji pengujian kadar air pada ketiga jenis minyak ini sebanyak 6 sampel uji. Data hasil pengujian yang diperoleh disajikan pada Tabel 4.6 berikut ini.

**Tabel 4.6** Nilai kadar air masing-masing sampel uji

Jenis Minyak	Kadar air (ppm)		Kadar air (%)	
	Amb'	80° C	Amb'	80° C
Sintetis	543.59	476.70	0.0544	0.0477
Mineral	8090.39	7042.73	0.8090	0.7043
Nabati	1018.11	924.91	0.1018	0.0925

Perbandingan nilai yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai temperatur yang diberikan pada sampel uji, maka kadar air yang terkandung mengalami nilai yang semakin menurun. Dengan menurunnya nilai kadar air sampel uji pada temperatur yang semakin meningkat, maka mengakibatkan tegangan tembus yang didapatkan akan semakin meningkat pula. Hal ini dapat diartikan bahwa dengan pemanasan pada minyak transformator, maka dapat mengurangi konduktifitas minyak yang ditandai dengan menurunnya nilai kadar air.

Dari penelitian mengenai pengaruh perubahan temperatur terhadap nilai tegangan tembus pada beberapa isolasi minyak transformator yang telah dilakukan dapat dianalisis bahwa perubahan temperatur mempengaruhi kadar air yang terkandung pada minyak transformator. Semakin tinggi temperatur yang dialami oleh minyak transformator, maka kadar air yang terkandung dalam minyak

mengalami penurunan. Dengan terjadinya penurunan kadar air ini, maka menghasilkan karakteristik nilai tegangan tembus minyak transformator semakin meningkat. Dari masing-masing jenis minyak yang diuji, minyak nabati memiliki nilai tegangan tembus yang paling tinggi jika dibandingkan dengan minyak mineral dan minyak sintetis. Hal ini dapat terjadi karena parameter titik nyala pada minyak nabati bernilai paling tinggi (268° C) sedangkan minyak mineral dan minyak sintetis hanya bernilai 140° C dan 101° C.

Walau memiliki nilai tegangan tembus yang paling tinggi, minyak nabati jarang sekali difungsikan untuk media isolasi cair dari transformator. Hal ini disebabkan kemampuan minyak nabati untuk mendistribusikan panas tidak sebaik minyak mineral maupun minyak sintetis. Selain itu, dari pengujian yang dilakukan, diamati bahwa kontaminan hasil tegangan tembus yang muncul cenderung larut pada minyak nabati, sedangkan pada minyak mineral kontaminan yang muncul mengendap, begitu juga pada minyak sintetis yang jelas sekali kontaminan tidak larut dan cenderung menggumpal. Hal ini menjelaskan bahwa minyak nabati memiliki kemampuan *self healing* yang tidak sebaik minyak mineral dan sintetis sehingga perlu perlakuan khusus untuk *me-recovery* minyak nabati ini. Dari penggunaan transformator distribusi pun, perubahan temperatur yang terjadi pada transformator dijaga tidak melebihi 70° C, sehingga penggunaan minyak transformator tidak memerlukan kriteria titik nyala yang tinggi, lebih dari 150° C. Oleh karena itu minyak mineral dan minyak sintetis masih menjadi pilihan utama sebagai media isolasi cair dari transformator.

\*\*\* Halaman sengaja dikosongkan \*\*\*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Berdasarkan data hasil pengujian yang diperoleh beserta analisis dan evaluasi data, maka pada pengujian mengenai tegangan tembus pada isolasi minyak transformator jenis mineral, sintetis, dan nabati terhadap pengaruh perubahan temperatur dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai rata-rata tegangan tembus pada minyak transformator jenis mineral akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan temperatur yang diberikan pada minyak dengan nilai hasil pengujian 7.2 kV pada temperatur ruangan, 25.41 kV pada temperatur 50°C, 27.5 kV pada temperatur 60°C, 42.59 kV pada temperatur 70°C, 43.99 kV pada temperatur 80°C, 50.95 kV pada temperatur 100°C, dan 55.73 kV pada temperatur 120°C.
2. Nilai rata-rata tegangan tembus pada minyak transformator jenis sintetis cenderung semakin meningkat seiring dengan peningkatan temperatur yang diberikan pada minyak dengan nilai hasil pengujian 12.4 kV pada temperatur ruangan, 22.98 kV pada temperatur 50°C, 19.85 kV pada temperatur 60°C, 24.01 kV pada temperatur 70°C, 25.06 kV pada temperatur 80°C, dan 38.975 kV pada temperatur 100°C.
3. Nilai rata-rata tegangan tembus minyak transformator jenis sintetis pada pemanasan 120°C mengalami penurunan dengan nilai 16.6 kV karena pemanasan dilakukan melebihi batas titik nyala minyak sintetis yaitu 101°C.
4. Nilai rata-rata tegangan tembus pada minyak transformator jenis nabati cenderung semakin meningkat seiring dengan peningkatan temperatur yang diberikan pada minyak dengan nilai hasil pengujian 21.16 kV pada temperatur ruangan, 31.22 kV pada temperatur 50°C, 32.46 kV pada temperatur 60°C, 41.08 kV pada temperatur 70°C, 53.16 kV pada temperatur 80°C, 51.99 kV pada temperatur 100°C, dan 52.59 kV pada temperatur 120°C.
5. Kenaikan nilai rata-rata tegangan tembus pada minyak transformator jenis mineral, sintetis, dan nabati dipengaruhi oleh

kadar air yang terkandung di dalam minyak. Minyak transformator yang mengalami pemanasan pada temperatur yang lebih tinggi memiliki persentase kandungan air yang lebih rendah daripada minyak transformator yang mengalami pemanasan pada suhu yang lebih rendah sehingga mengakibatkan tegangan tembus yang diperoleh bernilai tinggi.

6. Minyak transformator jenis nabati memiliki nilai rata-rata tegangan tembus yang paling tinggi dibandingkan dengan nilai rata-rata tegangan tembus minyak mineral dan sintetis yang memiliki nilai rata-rata tegangan tembus paling rendah. Kondisi ini dipengaruhi oleh spesifikasi dari masing-masing jenis minyak yaitu nilai titik nyala. Titik nyala minyak nabati adalah  $268^{\circ}\text{C}$  yang merupakan titik nyala paling tinggi di antara ketiga jenis minyak, kemudian minyak mineral, yaitu  $140^{\circ}\text{C}$ , dan minyak sintetis yang memiliki spesifikasi titik nyala yang paling rendah, yaitu  $101^{\circ}\text{C}$ .

## 5.2 SARAN

Agar topik pembahasan pada laporan tugas akhir ini lebih sempurna, maka saran untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Lama pemanasan yang digunakan adalah seragam untuk setiap fase pengujian pada setiap jenis minyak, yaitu 30 menit. Untuk penelitian selanjutnya lama pemanasan dapat divariasi sehingga data karakteristik minyak yang didapat lebih lengkap.
2. Jenis isolasi untuk transformator semakin bervariasi, tidak hanya minyak, tetapi pemanfaatan zat resin yang telah diaplikasikan untuk produksi transformator kering (*dry transformer*). Selanjutnya, dapat dilakukan penelitian mengenai zat resin sebagai bahan isolasi transformator.
3. Pengujian isolasi minyak dilakukan pada kondisi yang vakum sehingga tidak terpengaruh oleh kondisi lingkungan sekitar, baik itu pengaruh kelembaban maupun kontaminan dari luar.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Giap, T.K., et al., *Analisis Daya Saing Provinsi dan Wilayah - Menjaga Momentum Pertumbuhan Indonesia Edisi 2014*. 2014, Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
2. Marsudi, D., *PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK*. 2005, Jakarta.
3. Negara, I.M.Y., *TEKNIK TEGANGAN TINGGI*. 2013, Yogyakarta.
4. Commission, I.E., *Insulating liquids-Determination of the breakdown voltage at power frequency-Test method*, in *CEI/IEC 156*. 1995: Suisse
5. Setyawan, M.Y., *Pengaruh Bentuk dan Jumlah Partikel Terhadap Karakteristik Partial Discharge dan Tegangan Tembus Isolasi Minyak pada Medan Seragam*. PROSEDING SEMINAR TUGAS AKHIR, 2014.
6. Nugroho, D., *KEGAGALAN ISOLASI MINYAK TRAF0*. Media Elekrika, 2010. **3**(2).
7. Islam, R. and Z.H. Mahmood. *Characterization of transformer oil for breakdown voltage, transmittance & heat dissipation capability*. in *Green Energy and Technology (ICGET), 2014 2nd International Conference on*. 2014. IEEE.
8. Wang, X. and Z. Wang, *Study of dielectric behavior of ester transformer liquids under ac voltage*. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2012. **19**(6).
9. Latif, M., *PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KEKUATAN DIELEKTRIK MINYAK NABATI SEBAGAI BAHAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA*. 2008. **1**(30).
10. Oommen, T., *Vegetable oils for liquid-filled transformers*. IEEE Electrical insulation magazine, 2002. **18**(1): p. 6-11.
11. Jauhari, R., *Analisis Karakteristik Fisik dan Elektrik untuk Estimasi Umur Minyak Transformator Menggunakan Hukum Arrhenius*. 2017, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

LAMPIRAN A

Lampiran A. Data pengujian tegangan tembus minyak mineral

Ambient	50 °C		60 °C		70 °C		80 °C		100 °C		120 °C	
kV	kV	°C	kV	°C	kV	°C	kV	°C	kV	°C	kV	°C
6	22.6	51	26	62	44.67	71	46.3	82	51.18	101	54.42	124
8	26.46	46	27	57	43.84	64	40.6	75	50.06	92	56.76	113
6	27.24	53	26	61	41.43	74	46.6	84	52.43	102	55.17	121
8	24.09	46	29	55	40.7	65	43.6	72	49.83	90	56.63	114
8	28.65	51	29	60	42.62	71	45.7	81	51.81	98	55.92	123
	23.42	46	28	55	42.29	65	41.16	73	50.42	92	55.46	111
7.2	25.41	48.83	27.50	58.33	42.59	68.33	43.99	77.83	50.96	95.83	55.73	117.67

	Nilai tegangan tembus
	Nilai pengukuran temperatur
	Nilai rata-rata

## LAMPIRAN B

Lampiran B. Data pengujian tegangan tembus minyak sintetis

Amb.	50 °C		60 °C		70 °C		80 °C		100 °C		120 °C	
kV	kV	°C	kV	°C	kV	°C	kV	°C	kV	°C	kV	°C
12	23.54	53	19.5	64	26.89	71	27.2	78	42.5	92	32.79	121
14	20.46	46	20	58	25.48	65	26.26	72	43.23	88	9.82	119
16	24.57	53	19.3	63	23.48	74	23.6	81	38.8	98	7.23	119
10	19.87	47	20	58	23.4	66	24.5	76	37.18	93		
10	25.68	54	20.23	63	21.6	72	25.1	78	35.64	100		
	23.75	46	20.05	57	23.19	65	23.7	71	36.5	94		
12.4	22.98	49.8	19.85	60.5	24.01	68.83	25.06	76	38.98	94.17	16.61	119.67

	Nilai tegangan tembus
	Nilai pengukuran temperatur
	Nilai rata-rata

## LAMPIRAN C

Lampiran C. Data pengujian tegangan tembus minyak nabati

Amb.	50 °C		6 °C		70 °C		80 °C		100 °C		120 °C	
kV	kV	°C	kV	°C	kV	°C	kV	°C	kV	°C	kV	°C
20	27.05	51	33.1	63	39.84	71	50.2	83	50.29	101	50.09	122
22	27.95	45	29.56	56	40.01	64	54.7	76	54.71	94	53.48	112
21.8	29.66	51	32.9	61	42.83	70	54.88	81	56.3	102	53.87	121
20	34.49	44	31.7	56	40.46	64	54.17	75	51.05	94	53.46	112
22	34.48	52	33.8	64	42.08	73	53.3	78	49.98	101	53.34	123
	33.67	44	33.7	58	41.27	65	51.7	71	49.63	95	51.32	114
21.16	31.22	47.83	32.46	59.67	41.08	67.83	53.16	77.33	51.99	97.83	52.59	117.33

	Nilai tegangan tembus
	Nilai pengukuran temperatur
	Nilai rata-rata

## LAMPIRAN D

Data hasil pengujian kadar air



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA  
TELEPON (031)5948886 FAX. (031)5928387

### DATA ANALISA CUPLIKAN

Pengirim : Sdr. Oki  
Dikirim Tanggal : 28 Mei 2018  
Sampel : Cuplikan Minyak

Kode Sampel	Hasil Analisa Kadar Air (%)	Hasil Analisa Kadar Air (ppm)
Min A	0,8090	8.090,39
Min A 100	0,7043	7.042,73
Sin A	0,0544	543,59
Sin A 100	0,0477	476,70
Nab A	0,1018	1.018,11
Nab A 100	0,0925	924,91
Metoda Analisa	SNI 01-2901-2006	SNI 01-2901-2006

Surabaya, 04 Juni 2018  
Kepala Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Prof. Dr. Ir. Nieke Karmaningroem, MSc  
NIP. 195501281985032001

Catatan :

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan yang diterima laboratorium kami

# LAMPIRAN E

Datasheet minyak transformator jenis mineral.

## PRODUCT DATA SHEET Distro DT-II

PROPERTY	UNIT	TEST METHOD	SPECIFICATION LIMITS		TYPICAL DATA
			MIN	MAX	
1 - Function					
Viscosity, 40°C	mm <sup>2</sup> /s	ISO 3104		12.0	11.5
Viscosity, -20°C	mm <sup>2</sup> /s	ISO 3104		1800	470
Pour point	°C	ISO 3016		-30	-54
Water content	mg/kg	IEC 60814		30	<20
Breakdown voltage					
- Before treatment	kV	IEC 60156	30		40-60
- After treatment	kV	IEC 60296	70		>70
Density, 20°C	kg/dm <sup>3</sup>	ISO 12185		0.895	0.875
DDF at 90°C		IEC 60247		0.005	<0.001
2 - Refining/stability					
Appearance		IEC 60296	Clear, free from sediment		complies
Acidity	mg KOH/g	IEC 62021		0.01	<0.01
Interfacial tension	mN/m	EN 14210	40		>40
Corrosive sulphur		DIN 51353		non-corrosive	non-corrosive
Potentially corrosive sulphur		IEC 62535		non-corrosive	non-corrosive
Corrosive sulphur		ASTM D 1275 B		non-corrosive	non-corrosive
DBDS	mg/kg	IEC 62697-1		not detectable	not detectable
Antioxidant	wt %	IEC 60666		not detectable	not detectable
Metal passivator additives	mg/kg	IEC 60666		not detectable	not detectable
2-Furfural and related compounds content	mg/kg	IEC 61198		0.05	<0.05
3 - Performance					
Oxidation stability at 120°C, 164 h		IEC 61125 C			
Total acidity	mg KOH/g			1.2	0.7
Sludge	wt %			0.8	0.2
DDF at 90°C				0.500	0.130
4 - Health, safety and environment (HSE)					
Flash point, PM	°C	ISO 2719	135		140
PCA	wt %	IP 346		3	<3
PCB	mg/kg	IEC 61619		not detectable	not detectable

Distro DT-11 is an uninhibited insulating oil, meeting IEC 60296 Ed.4 (2012) General specifications, LCSET -20°C. This transformer oil is developed for distribution transformers, and should only be used in applications with a nominal voltage level less than 72 kV.

Severely Hydrotreated Insulating Oil  
Issuing date: 2015-06-04



## LAMPIRAN F

Datasheet minyak transformator jenis Nabati.



### Vegetable Transformer Fluid

#### MICTRANS-VF

**MICTRANS-VF** is an environmentally friendly dielectric fluid used in distribution and power transformers, which offers a big advantage on the faster biodegradability, no water hazard, high fire/flash point and low thermal expansion coefficient comparing mineral-based oils. MICTRANS-VF is formulated with Canola Oil and high performance additives to meet the international standard IEC 62770 Edition 1.0 2013.11

#### Features

- ✓ Good biodegradability
- ✓ High Fire/Flash Point
- ✓ Excellent Oxidation stability
- ✓ Superior Thermal Stability

#### Applications

- ✓ Fluids for electrotechnical applications in distribution, power transformers and similar electrical equipment
- ✓ not recommend to use in the electrical equipment that open to atmosphere

Typical Properties	Unit	Typical	Specification	Test Method
<b>● Physical</b>				
Appearance		complies	Clear, free from sediment and suspended matter	VISUAL
Viscosity at 100 °C	mm <sup>2</sup> /s	8.100	15.0 MAX	ISO 3104
Viscosity at 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	35.30	50.0 MAX	ISO 3104
Pour Point	°C	-24.0	-10.0 MAX	ISO 3016
Water content	mg/kg	60	200 MAX	IEC 60814
Density at 20 °C	kg/m <sup>3</sup>	0.9180	1.000 MAX	ISO 12185
Color	ASTM scale	L0.5		ASTM D1500
<b>● Electrical</b>				
Breakdown voltage	2.5 mm gap	65	35 kV MAX	IEC 60156
Dissipation factor at 90 °C		0.015	0.05 MAX	IEC60247
<b>● Chemical</b>				
Soluble acidity	mg KOH/g	0.030	0.06 MAX	IEC 62021-3
Corrosive sulfur		noncorrosive	noncorrosive	ASTM D1275 B
<b>● Health, safety and environment (HSE)</b>				
Fire Point	°C	366	300 MIN	ISO 2592
Flash Point, PM	°C	268	250 MIN	ISO 2719
Biodegradation		Readily biodegradable	Readily biodegradable	OECD 301 C

Above data is obtained from our recent manufacturing batch.

201, Dongsam-dong, Youngdo-gu, Busan, Korea  
Tel : +82-51-403-6440 Fax: +82-51-403-6440 Website : [www.michang.co.kr](http://www.michang.co.kr)



## LAMPIRAN G

Datasheet minyak transformator jenis Sintetis.



### XIAMETER® 561 Transformer Liquid

#### Polydimethylsiloxane

#### FEATURES

- Meets the requirements of both IEC 836 and ASTM D 4652-92
- Essentially non-toxic
- Environmentally safe
- Non-halogenated
- Compatible with a wide range of solid electrical insulating materials
- Contains no additives
- Classified as non-hazardous
- High thermal stability and oxidation resistance
- Higher fire point and lower heat release rate than other types of class K insulating liquids
- Good electrical properties and operating capabilities over a wide temperature range
- Non-sludging

#### APPLICATIONS

- Cooling and insulating liquid for transformers and other electrical equipment.

#### TYPICAL PROPERTIES

Specification Writers: These values are not intended for use in preparing specifications. Please contact your local XIAMETER sales representative prior to writing specifications on this product.

Parameter	Unit	Value
<b>Table 1: Tested to ASTM 4652-92</b>		
Appearance		Crystal clear liquid
Density at 25°C (77°F)	kg/dm <sup>3</sup>	0.96
Viscosity at 25°C (77°F)	mm <sup>2</sup> /s	50
Water content	ppm	30
Specific heat	kJ/kg.K	1.51
Thermal conductivity	W/(m.K)	0.151
Refractive index at 25°C (77°F)		1.404
Breakdown voltage <sup>1</sup>	kV	50
Permittivity at 25°C (77°F) – 50Hz		2.7
Dissipation factor at 25°C (77°F) – 50Hz		0.0001
Volume resistivity at 25°C (77°F)	ohm.cm	1.0x10 <sup>13</sup> □
Flash point open cup	°C	>300
	°F	>572
Fire point – open cup	°C	370
	°F	698

1. Breakdown voltage measured as in IEC 156:1995 section 3.4.2.

#### DESCRIPTION

##### XIAMETER PMX-561

Transformer Liquid is a polydimethyl silicone liquid that meets the requirements of:

\* International Electrotechnical Commission (IEC) 836

"specifications for silicone liquid for electrical purposes" (Silicone Type T-1).

\* ASTM D 4652-92 "silicone fluids for electrical insulation".

\* IEC 1100 – "Classification of insulating liquids according to fire point and net calorific value" (Class K3).

##### XIAMETER PMX-561

Transformer Liquid has a fire point exceeding the requirements of these documents and is within the IEC 1100 class with lowest net calorific value (heat of combustion).

With excellent electrical insulation properties over a wide temperature range, combined with high thermal stability, XIAMETER PMX-561 Transformer Liquid is suitable for transformers and other electrical equipment designed to operate at high temperatures or at very low temperatures.



## XIAMETER(R) Material Safety Data Sheet

Page: 4 of 7  
Version: 1.1  
Revision Date: 2010/05/17

### XIAMETER(R) PMX-561 TRANSFORMER LIQUID

Eyes: Use proper protection - safety glasses as a minimum.

Skin: Washing at mealtime and end of shift is adequate.

Inhalation/Suitable Respirator: No respiratory protection should be needed.

Precautionary Measures: Avoid eye contact. Use reasonable care.

Note: These precautions are for room temperature handling. Use at elevated temperature or aerosol/spray applications may require added precautions. For further information regarding aerosol inhalation toxicity, please refer to the guidance document regarding the use of silicone-based materials in aerosol applications that has been developed by the silicone industry ([www.SEHSC.com](http://www.SEHSC.com)) or contact the Dow Corning customer service group.

#### 1. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Physical Form: Liquid  
Color: Colorless  
Odor: Characteristic odor  
Specific Gravity @ 25°C: 0.96  
Viscosity: 50 cSt  
  
Freezing/Melting Point: Not determined.  
Boiling Point: > 65 °C  
Vapor Pressure @ 25°C: Not determined.  
Vapor Density: Not determined.  
Solubility in Water: Not determined.  
pH: Not determined.  
Volatile Content: Not determined.  
Flash Point: > 213.8 °F / > 101 °C (Closed Cup)  
Autoignition Temperature: Not determined.  
Flammability Limits in Air: Not determined.

Note: The above information is not intended for use in preparing product specifications.

#### 10. STABILITY AND REACTIVITY

Chemical Stability: Stable.

Hazardous Polymerization: Hazardous polymerization will not occur.

Polymerization:

Conditions to Avoid: None.

Materials to Avoid: Oxidizing material can cause a reaction.

#### Hazardous Decomposition Products

Thermal breakdown of this product during fire or very high heat conditions may evolve the following decomposition products: Carbon oxides and traces of incompletely burned carbon compounds. Silicon dioxide. Formaldehyde.

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Pugeh Aditya Nayahannah**, biasa dipanggil dengan Oki merupakan anak pertama dari pasangan orang tua Bagya Sucipto dan Sri Utami yang lahir di Kupang, NTT pada tanggal 8 Mei 1989. Penulis memulai jenjang pendidikan berawal dari TK Pembina di Kupang, tahun 1993-1995. Kemudian berlanjut di SDN Bonipoi 2 hingga tahun 2000 dan dilanjutkan di SDN Jombang 3 dan lulus pada tahun 2001. Selanjutnya melanjutkan ke SMPN 1 Jombang dan SMAN 2 Jombang dan berhasil lulus pada tahun 2007. Penulis melanjutkan pendidikan Diploma 3 di PENS dengan Program Studi Teknik Elektronika dan berhasil lulus di tahun 2011. Penulis sempat bekerja pada suatu perusahaan asing hingga tahun 2015 dan pada tahun 2016 penulis melanjutkan jenjang pendidikan Strata-1 pada program Lintas Jalur dengan mengambil konsentrasi bidang Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tidak banyak hal spektakuler yang penulis alami selama menjalani kerasnya kehidupan sehingga tidak banyak juga hal yang bisa dibagi pada penjabaran riwayat hidup ini. Penulis dapat dihubungi pada alamat e-mail : [pugeh.aditya@gmail.com](mailto:pugeh.aditya@gmail.com).

*“Jadilah pribadi yang mampu menantang masa depan, bukan pengecut yang aman di zona nyaman”*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----